

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Construcciones

Departamento de Ingeniería Civil



Trabajo de Diploma

ESTUDIO DE IMPACTO DEL USO DE ÁRIDOS RECICLADOS EN BLOQUES DE HORMIGÓN

Autor: Javier Enrique Cintra Rodríguez

Tutores: MSc. Macyuri Álvarez Luna

Dra. Elena Rosa Domínguez

Santa Clara

2015



Pensamiento

*El éxito no es definitivo, el fracaso no es fatal: es el valor
para continuar lo que cuenta.*

Winston Churchill.



Dedicatoria

En estos cinco años han existido personas imprescindibles en mi vida, personas que sin las cuales no hubiese podido cumplir esta meta tan importante, que han confiado en mí, y han estado presente cuando las necesitaba.

Quisiera dedicar este trabajo a:

A mis padres Olga Lidia y Freddy que son mi vida y yo la de ellos, por dedicar su vida a mí y ayudarme incondicionalmente.

A mi prima Yusi por aconsejarme en momentos donde pensaba abandonar la carrera y estar presente cuando me ha hecho falta.



Agradecimientos

A mi mamá, por todo su amor y comprensión a lo largo de estos años

A mi papá, por ayudarme y estar siempre presente

A mis abuelos, que ya no se encuentran presente pero si en mi corazón

A mi tía María, por ser una madre para mí

A mis primos Yusi, Larry y Erito por ayudarme a lo largo de estos años

A mi novia Verónica por compartir junto a mí este último año

A Ramón por dedicar su tiempo y ayudar en mis proyectos

A mi tutora Macyuri, por su apoyo absoluto y por dedicar tanto tiempo en alcanzar este resultado

A Luisito, por las horas extras dedicadas en ayudarme con el trabajo

A la Doctora Elena Rosa por brindarme su ayuda con el programa SI MAPRO 7.3 para obtener los resultados finales

A todo el personal de Taller de Eco-materiales de Manicaragua, que tuvo que ver con el resultado del trabajo

A todos en general, los que tuvieron que ver de una forma u otra con la realización de este trabajo:

Muchas Gracias



Resumen

Resumen

El presente trabajo aborda aspectos conceptuales sobre el hormigón, la composición del mismo utilizando áridos naturales. Muestra las consecuencias económico-ambientales del uso de áridos naturales y como el árido reciclado es una alternativa para atenuar la situación de la extracción de los áridos naturales en las canteras. Se hace alusión a las experiencias de los mismos en el mundo y en Cuba así como las normativas a tener en cuenta para su utilización. La investigación expone la recopilación de los estudios realizados por el Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM) sobre el uso de áridos reciclados en mezclas de hormigón a nivel de probetas.

Se caracteriza la Empresa Provincial de Construcción y Mantenimiento de Villa Clara y el Taller de Eco-materiales de Manicaragua perteneciente a la misma, que será la entidad objeto de este estudio, la cual tiene como producción más importante los bloques de 10 y 15 cm, teniendo en cuenta en sus alternativas el árido natural y el reciclado. Se utiliza la herramienta Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para la medición de los impactos ambientales, económicos y sociales.

La información se obtuvo a partir de la utilización del análisis documental. Se utilizan los métodos de investigación teóricos y empíricos y los resultados se obtienen mediante el uso del programa SIMAPRO7.3, teniendo en cuenta la metodología del Eco indicador 99.

Summary

This work shows conceptual to the concrete aspects, its composition using natural aggregates. It shows the economic and environmental consequences of using natural aggregates and recycled aggregates as an alternative to alleviate the situation of the extraction of natural aggregates quarries. Referring to the experiences of the same in the world and in Cuba as well as regulations to consider for use is made. The research exposes the collection of studies conducted by the Center for Research and Development of Structures and Materials (ICW) on the use of recycled aggregates in concrete mixes samples level.

Company Provincial Construction and Maintenance of Villa Clara and Eco-Workshop Manicaragua materials belonging to it, which is the entity subject of this study, which has as its most important production blocks 10 and 15 cm is characterized, considering its alternatives in the natural aggregate and recycling. The analysis tool of Life Cycle Assessment (LCA) to measure environmental, economic and social impacts is used.

The information was obtained from the use of documentary analysis. Methods of theoretical and empirical research are used and the results obtained using the SIMAPRO7.3 program, taking into account the methodology of Eco indicator 99.



Índice

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
---------------------------	----------

CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS-CONCEPTUALES SOBRE EL USO DE ÁRIDOS RECICLADOS EN LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN Y SUS IMPACTOS	1
--	----------

1.1. Hormigón como material de construcción	1
1.1.1. Materias primas usadas en el hormigón	1
1.1.2. Fuente de obtención de los áridos	5
1.2. Consecuencias económico-ambientales del uso de áridos naturales	7
1.3. Árido reciclado como alternativa para atenuar el impacto económico, ambiental y social	8
1.3.1. Principales fuentes de áridos reciclados	9
1.3.2. Procesamiento de áridos reciclados	10
1.4. Tendencias del uso de árido reciclado en el mundo	15
1.4.1. Experiencias del uso de áridos reciclados en el mundo	15
1.4.2. Normativas internacionales sobre el uso de los áridos reciclados	16
1.4.3. Normativas relacionadas con los impactos medioambientales de la producción y uso de los áridos	18
1.4.4. Uso de árido reciclado en Cuba	18
1.5. Revisión de los estudios realizados en el CIDEM del uso de áridos reciclados en mezclas de hormigón	19
1.5.1. Fuente y procesamiento de áridos reciclados. Propiedades físico-químicas	19
1.5.2. Mezclas empleadas	21
1.5.3. Materiales utilizados en las mezclas. Propiedades mecánicas y físico-químicas	22
1.5.3. Consideraciones finales sobre los estudios realizados en el CIDEM	25
1.6. Conclusiones Parciales	26

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL TALLER DE ECO-MATERIALES DE MANICARAGUA	28
--	-----------

2.1. Caracterización de la Empresa Provincial de Construcción y Mantenimiento Villa Clara	28
---	----

2.2. Caracterización del Taller de Eco-materiales de Manicaragua	29
2.3. Fuente y procesamiento de los áridos reciclados.....	33
2.3.1. Descripción de la tecnología del Taller	35
2.4. Demanda de materias primas para el plan de producción mensual.....	35
2.4.1. Fuentes de obtención de materias primas	36
2.4.2. Productos que se fabrican	37
2.5. Tabla de gasto de producción de los materiales	38
2.6. Alternativas para el estudio de impacto.....	38
2.7. Conclusiones Parciales	39
CAPÍTULO 3: IMPACTOS ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN BLOQUES DE HORMIGÓN EN EL TALLER DE ECO-MATERIALES DE MANICARAGUA	41
3.1. Impacto ambiental.....	42
3.1.1. Definición de los objetivos y alcance del estudio de ACV	43
3.1.2. Análisis del inventario de ACV	43
3.1.3. Evaluación de impacto	46
3.1.4. Interpretación de los resultados	48
3.2. Impacto Económico.....	54
3.3. Impacto Social.....	55
3.4. Conclusiones Parciales	56
CONCLUSIONES GENERALES	58
RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	65



Introducción

Introducción

A lo largo de la historia el aumento de la población y la tendencia al desarrollo han llevado a que la esfera de la construcción este en constante crecimiento, esto ha llevado a la explotación de los recursos del planeta. La gran demanda de los recursos básicos para determinadas industrias han desgastado las materias primas. A causa de ello el ser humano ha decidido tomar medidas para preservar y proteger el medio ambiente. Uno de los recursos que constituye objeto de estudio en esta investigación son los áridos los que han jugado un papel insustituible en el desarrollo de la humanidad.

La problemática actual que existe con el agotamiento de los áridos en las canteras está poniendo en grave problema el abastecimiento de áridos naturales y subiendo su coste, por otro lado los residuos en la construcción cada vez son mayores y la falta de conocimiento en la gestión y tratamiento de estos llama a la reflexión de porque no reutilizar esos escombros como áridos para hormigones. La dependencia de nuestra sociedad hacia los recursos naturales y la consideración de su importancia hacen que se deban aprovechar al máximo, ya sea reciclando, reutilizando o revalorizando.

El reciclaje de escombros es un tema que a nivel mundial es algo que ya se viene haciendo hace algunos años y en el futuro será una necesidad imperiosa para afrontar el creciente uso de los áridos naturales y triturados debido que el nivel mundial de reservas son cada vez más limitadas, por lo que el ser humano se interesa por buscar una nueva materia prima que sustituya a los áridos existentes.

Cuba no se aleja de esta situación, incrementándose la extracción de los áridos de las canteras desde el año 2007 al 2012 en 18 539 Mt (Trujillo, 2014). Es importante buscar vías que ayuden a atenuar esa problemática con el objetivo de ahorrar las reservas de áridos naturales para las obras más importantes. En esta misma línea se encuentra nuestra provincia y como altas consumidoras de áridos las plantas de prefabricado de la misma, pertenecientes a la Empresa Provincial Industrial (EPI).

La mayor parte de estos residuos se llevan a los vertederos crean un gran impacto visual además de un impacto ecológico negativo, que con adecuado tratamiento podrían ser recicladas. Se hace por lo tanto necesaria, su correcta gestión, de forma

que se consiga reducir las cantidades generadas y aprovechar el potencial que tienen estos materiales como material secundario (Sánchez de Juan, 2004).

Si se utilizan entre un 20-30 % de árido reciclado la mayor parte de las propiedades no se ven afectadas, mientras que con porcentajes mayores se pueden producir importantes disminuciones de la calidad del hormigón (Sánchez de Juan, 2004).

La **situación problemática** está dada a partir de la extracción desmedida de áridos naturales de diferentes canteras, los cuales constituyen un recurso no renovable, ante esta situación que afecta al ecosistema se hace necesario recurrir a soluciones alternativas y estudios ambientales, económicos y sociales a través de herramientas que contribuyan a mitigar esta situación. Además, no se conocen los impactos del uso de áridos reciclados en bloques de hormigón.

Problema científico ¿Cómo contribuir a la evaluación de los impactos económicos, ambientales y sociales, del uso de áridos reciclados en la producción de bloques de hormigón del Taller de Eco-materiales de Manicaragua, a partir de la aplicación de la herramienta Análisis de Ciclo de Vida?

Hipótesis:

Si se aplica el análisis de ciclo de vida en la producción de bloques de hormigón en el Taller de Eco-materiales de Manicaragua, es posible evaluar los impactos económicos, ambientales y sociales del uso de áridos reciclados en dicha entidad.

Objetivo General:

Evaluar los impactos económicos, ambientales y sociales generados en la producción de bloques de hormigón mediante la herramienta Análisis de Ciclo de Vida en escenarios comparados con áridos naturales y reciclados.

Para garantizar el alcance de este objetivo general, antes expuesto, se proponen como **objetivos específicos** los siguientes:

- Sistematizar los fundamentos teóricos-conceptuales sobre el uso de áridos reciclados en la producción de hormigón y sus impactos.
- Realizar una caracterización general del Taller de Eco-materiales de Manicaragua.

- Aplicar la metodología de análisis de ciclo de vida en la producción de bloques de hormigón con árido reciclado y árido natural en el Taller de eco-materiales de Manicaragua.

Objeto de investigación:

El uso de áridos reciclados en la producción de bloques de hormigón.

Campo de acción:

El campo de acción de esta investigación está vinculado al proceso de fabricación de bloques de hormigón con árido reciclado y natural en el Taller de Eco-materiales de Manicaragua.

Novedad científica:

La aplicación del análisis del ciclo de vida como herramienta de gestión permite identificar los recursos usados, los residuos que se generan y los impactos económicos, ambientales y sociales durante el proceso de producción de bloques de hormigón.

Aportes del trabajo:

Orden práctico: Se aplica la herramienta ACV, para evaluar los impactos económicos, ambientales y sociales, en la producción de bloques de hormigón con áridos naturales y áridos reciclados.

Aspecto metodológico: Se aplica la herramienta ACV, utilizando la metodología del eco-indicador 99 para el estudio del impacto ambiental generado en la producción de bloques de hormigón.

Aspecto Medioambiental: La aplicación de la herramienta ACV, permite conocer comparativamente cómo se comportan las categorías de impacto en bloques de hormigón con áridos reciclados y naturales.

Orden Social: La aplicación de la herramienta ACV le permite conocer a la entidad el impacto en las categorías de daños: a la salud, al ecosistema y a los recursos. De esta forma se pueden trazar estrategias que mitiguen esta situación. Desde el punto de vista económico se realiza una estimación que permite saber el beneficio que tendrá

la producción adicional de bloques con áridos reciclados en el sistema de la construcción.

Aspecto Económico: La aplicación de la herramienta ACV permite conocer los costos de producción de los bloques con áridos naturales y con áridos reciclados.

Metodología:

Métodos Teóricos:

Histórico y lógico: Análisis de la información obtenida a partir de la revisión de la literatura y documentación especializada.

Analítico - sintético: Para desarrollar el análisis del objeto de estudio y el campo de acción, a través de la descomposición en los elementos que lo integran y llegar a conclusiones.

Inductivo - deductivo: Para la formulación de la hipótesis y evaluar los impactos económicos, ambientales y sociales.

Materialista dialéctico: Como método universal.

Métodos Empíricos: Análisis de ciclo de vida (ACV) y revisión documental.

Estructura de la investigación:

Capítulo I: Fundamentos teóricos-conceptuales sobre el uso de áridos reciclados en la producción de hormigón y sus impactos.

Capítulo II: Caracterización general del Taller de eco-materiales de Manicaragua.

Capítulo III: Impactos asociados a la producción de bloques de hormigón en el Taller de Eco-materiales de Manicaragua.



Capítulo I

CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS-CONCEPTUALES SOBRE EL USO DE ÁRIDOS RECICLADOS EN LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN Y SUS IMPACTOS

1.1. Hormigón como material de construcción

El hormigón es un material de construcción formado por la mezcla de arena, grava, gravilla, cemento, agua y aditivos. El cual es conocido desde la antigüedad y que se sigue utilizando en la actualidad por sus múltiples aplicaciones.

Según la Wikipedia el hormigón o concreto es un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos(Wales and Sanger, 2012).

La (NC, 2007) define al hormigón como un material constituido por la mezcla de cemento, árido grueso, árido fino y agua, con o sin la incorporación de aditivos o adiciones, que desarrolla sus propiedades al hidratarse el cemento.

Su resistencia a compresión es notable, alcanzándose progresivamente a lo largo de los años. La resistencia a flexotracción es bastante menor, por lo que se le incorpora acero que absorba las fuerzas de tracción.

1.1.1. Materias primas usadas en el hormigón

Las materias primas utilizadas en el hormigón son el agua, áridos, cemento y aditivos las cuales se explican a continuación.

Cemento

La (NC, 2007) define al cemento como un material mineral finamente molido, que después de ser mezclado con agua forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, después de endurecer, conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

El cemento que se utiliza sea del tipo Portland o cementos especiales, deberán ser adecuados a los esfuerzos que ha de soportar la pieza o estructura y el ambiente que la rodee teniendo en cuenta distintos parámetros como la temperatura, el agua de mar y los ambientes corrosivos.

El proceso de fabricación del cemento se inicia con la extracción de piedras calizas y arcillas en las canteras las cuales pasan por un proceso de trituración para reducir el tamaño de las rocas hasta partículas de aproximadamente una pulgada. Este material triturado se almacena junto con el hierro en patios donde es recogido por camiones o transportados por bandas para ser llevado hacia los molinos de crudo. De los molinos se obtiene un material muy fino conocido como harina cruda (Sanchez, 2008).

Una vez obtenida la harina o pasta cruda como también se le conoce se deposita en silos de almacenamiento. La siguiente etapa consiste en la calcinación del material, la cual se realiza en hornos que alcanzan aproximadamente 1450°C, favoreciendo la ocurrencia de reacciones químicas que dan lugar al clínquer (Sanchez, 2008).

El clínquer junto con pequeñas porciones de material de yeso se transporta a molinos de cemento dando lugar al producto terminado (Sanchez, 2008).

Agua

El agua empleada para la confección y curado del hormigón debe cumplir distintas normas de calidad. No debe contener productos perjudiciales que lo ataquen y alteren sus características mecánicas. Esta deberá estar limpia y fresca sin residuos de aceites, ácidos, sulfatos de magnesio, sodio y calcio (llamados álcalis blandos), sales, limo, materias orgánicas u otras sustancias dañinas y estará así mismo exenta de arcilla, lodo y algas. Cualquier agua potable puede ser utilizada.

Aditivos

Gracias al avance de la industria química se han podido resolver diversos problemas con el hormigón empleando distintos tipos de aditivos.

Según la (NC, 2007) el aditivo es un material añadido al hormigón durante el proceso de mezclado en pequeñas proporciones en relación con la masa del cemento para modificar las propiedades del hormigón fresco o endurecido.

Según la norma ASTM C 494 "Chemical Admixtures for Concrete"(ASTM, 2001), los aditivos se clasifican en:

- TIPO A: Reductor de Agua.
- TIPO B: Retardador de Fraguado.

- TIPO C: Acelerador de Fraguado.
- TIPO D: Reductor de agua y Retardador.
- TIPO E: Reductor de Agua y Acelerador.
- TIPO F: Reductor de Agua de Alto Efecto.
- TIPO G: Reductor de Agua de Alto Efecto y Retardador.

Por su parte el código de buena práctica “Aditivos, Clasificación, Requisitos y Ensayos”, elaborado por el Centro Tecnológico del Hormigón (CTH), establece la siguiente clasificación:

- Retardador de fraguado.
- Acelerador de fraguado y endurecimiento.
- Plastificante.
- Plastificante-Retardador.
- Plastificante-Acelerador.
- Superplastificante.
- Superplastificante retardador.
- Incorporador de aire.

Áridos

Según el Diccionario de Arquitectura y Construcción, el árido se define como un material granular inerte como la grava y la arena que se añade al cemento o cal (Paricio).

La (UEPG¹) define a los áridos como materiales granulares utilizados en la construcción de edificaciones y obras públicas, mientras que la Asociación Nacional Española de Fabricantes de Áridos (ANEFA) añade a la definición anterior que también se emplean en diversas aplicaciones industriales (O’Brien, 2009-2010).

Según (Trujillo, 2014) el árido se define, como un material granular inerte, como la grava y la arena, que puede ser añadido al cemento y la cal, para lograr conformar así el hormigón o mortero.

¹Asociación Europea de Áridos

(Trujillo, 2014) también concuerda con (Linares, 2002) en que los áridos son un conjunto de granos rocosos de muy diversos tamaños, que se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, sin aglomerar o mediante su mezcla íntima con materiales aglomerantes de activación hidráulica como la cal, el cemento o ligantes bituminosos.

El IGME² en la publicación panorama minero agrega a las anteriores definiciones que los áridos son una serie de rocas que tras tratamiento industrial (simple clasificación por tamaños en caso de áridos naturales o de trituración y clasificación en caso de áridos provenientes de machaqueo) se emplean en la industria de la construcción en múltiples aplicaciones que van desde la elaboración, junto con un ligante, de hormigones, morteros y aglomerados asfálticos, hasta la construcción de bases y subbases para carreteras, balasto y subbalasto para vías de ferrocarril o escolleras para la defensa construcción de puertos marítimos (Sanz et al., 2010).

Los áridos pueden ser arenas o gravas procedentes del machaqueo los cuales pueden presentar formas redondeadas o angulosas; su tamaño responderá a criterios granulométricos relacionados con su utilización, por lo que será necesario su clasificación por tamaños para responder a las necesidades del mercado.

Los áridos o agregados como también se les conoce, constituyen una parte importante en el hormigón, no sólo en el orden cuantitativo, ya que constituyen generalmente el 78 % del volumen del mismo como se observa en la Figura 1.1, sino también en el comportamiento cualitativo. En ocasiones se le suele dar a los áridos una función puramente económica, presentándose simplemente como un material de relleno, sin embargo, los mismos tienen también una importante función técnica (Betancourt, 2014).

²Instituto Geológico Minero de España

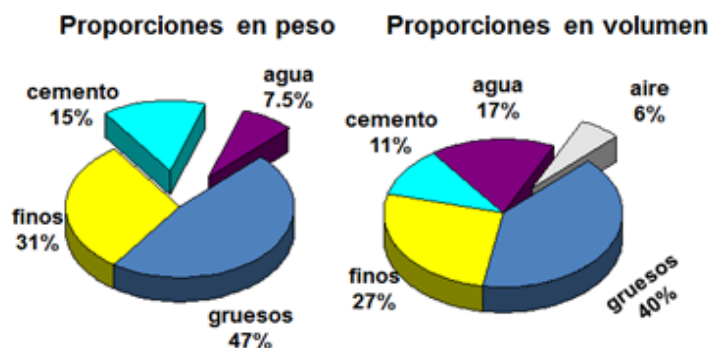


Figura 1.1. Gráfico de la composición del hormigón

Estos tienen una gran repercusión en las propiedades de los hormigones, tanto en su estado fresco como en el endurecido. La disminución de la fisuración y de las variaciones volumétricas en general, así como las propias resistencias mecánicas que se logran, se debe en gran medida a la presencia de los áridos en el aglomerado (Betancourt, 2014).

Se debe tener en cuenta además, que la durabilidad y resistencia química que caracterizan al hormigón se deben en gran medida a la presencia de los áridos.

1.1.2. Fuente de obtención de los áridos

Los áridos pueden provenir de depósitos sueltos o macizos rocosos. En los sueltos se incluyen los áridos de ríos y las canteras de materiales sueltos alejadas de los cauces. Tanto los macizos rocosos son provenientes de canteras de piedra y grupos de roca. Basado en el Manual de prospección, explotación y aplicaciones de los áridos del autor Carlos López Jimeno (Jimeno, 1994) se explica a continuación los yacimientos de áridos.

Yacimientos de materiales sueltos

- Abanicos aluviales: Son depósitos de arena y grava que pueden presentar cohesión elevada debido a tienen un contenido en materiales finos alto.
- Fluviales de tipo braided o trenzado: Se forman por cursos continuos de agua con pendientes moderadas y un lecho de inundación recorrido por un complejo sistema de canales fluviales. Forman yacimientos de áridos extensos y poco profundos, con materiales bien clasificados con poco fino.

- Depósitos de ríos meandriformes: Son llanuras de inundación limo-arenosas, localizadas en los márgenes de sedimentación del meandro. Pueden ser muy extensas y suelen formar buenos yacimientos de arena y grava.
- Depósitos eólicos: Son depósitos de arena fina muy bien seleccionada, que puede formar depósitos extensos y potentes. Su campo de utilización es reducido debido a su estrecho uso granulométrico y se suelen aportar a otros áridos más gruesos en la fabricación de hormigón.
- Eluviales y coluviales: Los primeros son materiales alterados in situ o con muy poco transporte y los segundos depósitos gravitacionales igualmente poco transportados que aparecen recubriendo laderas.

Yacimientos macizos rocosos

Para la obtención de áridos en estos macizos se utilizan todo tipo de rocas existentes como pueden ser:

- Rocas ígneas: Dentro de este tipo de rocas entran otros de muy diversos tipos y características como rocas plutónicas del tipo granodiorítico o cuarzodioríticas, rocas básicas y ultrabásicas como peridotitas, doleritas, gravos y rocas volcánicas.
- Rocas metamórficas: Dentro de este tipo de rocas encontramos los esquistos, los gneises, las rocas producto de anetexia como las migmáticas o afectadas por metamorfismo térmico como también se les conoce, las serpentinitas, anfibolitas, las cuarcitas, las metarenitas y los mármoles.
- Rocas sedimentarias: Las rocas sedimentarias se pueden clasificar en dos grandes grupos a) detríticas (conglomerados, areniscas y arcillas) formadas por la erosión, transporte y sedimentación y b) químicas (calizas, dolomías, etc.) originadas por precipitaciones químicas.

Los áridos son un recurso no renovables, pues su existencia es limitada y su regeneración depende de un proceso natural que requiere millones de años. La problemática actual que existe con el agotamiento de los áridos en las canteras está poniendo en grave problema el abastecimiento de áridos naturales y subiendo su coste.

1.2. Consecuencias económico-ambientales del uso de áridos naturales

En la actualidad, diversos estudios reflejan la creciente preocupación por el impacto que tienen las diferentes actividades humanas sobre el medio circunstante que nos rodea. El sector civil y de la construcción se considera uno de los que más ha contribuido al desarrollo de la sociedad actual, sin embargo, cada una de sus etapas implican la generación de residuos o desechos de distintas características según el tipo de obra, considerándose así, una de las actividades que más repercusión tiene sobre el entorno.

El problema de producción de residuos sólidos y su inadecuado manejo, ha facilitado la ocurrencia de una serie de situaciones alarmantes: disminución de la calidad ambiental de los ecosistemas marinos e insulares, el deterioro del paisaje y la pérdida de calidad de vida de la población, representada en la propagación de enfermedades. La disminución de la biodiversidad por prácticas inadecuadas representa un impacto negativo desde el punto de vista ecológico, económico y social.

Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) necesitan un tratamiento especial, pues el principal problema es la deposición final de los mismos y las afectaciones ambientales, como: la degradación del suelo, la proliferación de transmisión de agentes de enfermedades, la sedimentación de los ríos y arroyos, la obstrucción de sistemas de drenaje, la ocupación de carreteras y lugares públicos, el daño al movimiento de personas y vehículos, la degradación del paisaje urbano y la acumulación de residuos que puedan constituir un riesgo por su peligrosidad. Los RCD tienen como alternativas básicas ser desechados, ser incluidos en el proceso constructivo nuevo, o ser utilizados como una nueva energía de producción.

El reciclaje puede ser una herramienta clave y una aplicación adecuada que permite la disminución del impacto ambiental, al reducir el volumen de residuos que se depositan en el vertedero y evitando que se impacten otros espacios naturales; colabora en la reducción o eliminación de descargas ilegales de estos residuos, mejorando la imagen paisajística y la conservación de espacios aprovechables; contribuye a la protección del entorno, disminuyendo la extracción y obtención de áridos naturales, al sustituir estos agregados tradicionales con los que se obtienen

mediante el reciclaje, al hacer su aporte al ambiente, social y económico (Párraga et al., 2013). A través del reciclaje de los RCD se obtienen nuevos áridos que pueden ser reutilizados y comercializados como materiales constructivos completos.

1.3. Árido reciclado como alternativa para atenuar el impacto económico, ambiental y social

Diversos autores (Gayarre, 2008); (Marilda et al., 2011) y (Páramo, 2011) concuerdan con la definición de áridos reciclados emitida por el Comité Europeo de Normalización (CEN) el que define a los mismos como áridos resultantes del tratamiento de material inorgánico previamente utilizado en construcción.

Álvaro Navarro Calderón aporta a la definición anterior que los residuos pueden distinguirse de acuerdo al origen, en áridos reciclados procedentes de hormigón, áridos reciclados procedentes de residuos cerámicos y áridos reciclados mixtos siendo estos últimos los obtenidos a partir de residuos de distinta naturaleza. El nivel de exigencia más restrictivo que se le impone al árido reciclado es para su utilización como hormigón estructural, limitando en este caso la procedencia únicamente a escombros de hormigón por ser estos los de mejor calidad (Calderón, 2014).

Por su parte (Pérez Benedicto, 2011) aclara que los áridos reciclados son el resultado de la gestión y tratamiento de los residuos de construcción y demolición.

(Llanez Pérez, 2012) concuerda con (Pérez Benedicto, 2011) y agrega que tras someterlos a un proceso de reducción de tamaño y cribado, y analizarlos en el laboratorio, cumplen con las especificaciones técnicas para una aplicación dada dentro del sector de la construcción y de la obra civil.

Los áridos y materiales reciclados son el producto resultante del tratamiento de los RCD³, que una vez que cumplen con la normativa técnica de aplicación, constituyen una alternativa al empleo de los áridos naturales (Demolición, 2010).

³ Residuos de Construcción y Demoliciones

La necesidad de lograr un desarrollo sustentable, ha permitido la aparición de nuevas alternativas, como la relativa al reciclaje de áridos. La reutilización de este producto permite obtener beneficios ambientales, económicos y sociales, posibilitándole a diversos autores sustentar disímiles criterios al respecto, por su significatividad en el sector de la construcción, considerándolos uno de los pilares del desarrollo.

A través del reciclaje de los RCD se obtienen nuevos áridos que pueden ser reutilizados y comercializados como materiales constructivos completos. Con mínimas transformaciones se puede obtener: hormigón, rellenos de canteras, ladrillos, gravas para jardines, bases y sub-bases de pavimentos para carreteras, etc. (Alonso, 2014, Rodríguez de la Concepción, 2013).

Con el reciclaje de los RCD se puede disminuir los efectos negativos de la explotación de áridos en las canteras, eliminar los costos de materiales, las largas distancias de transportación de las canteras hacia las obras y con esto minimizar las emisiones de CO₂ y de polvo a la atmósfera.

1.3.1. Principales fuentes de áridos reciclados

Su origen es diverso los hay que provienen de la propia acción de construir, de los materiales sobrantes como hormigones, morteros y cerámicas. Otros provienen de los residuos de las plantas de prefabricados y demoliciones.



Figura 1.2. Fotos de Residuos de la Construcción y Demoliciones

1.3.2. Procesamiento de áridos reciclados

El procesamiento de áridos reciclados se realiza mediante plantas de reciclaje de residuos de la construcción y demoliciones. Las plantas de producción de árido reciclado son similares a las plantas de producción de árido natural, y sólo requieren además electroimanes para la separación del acero y otros sistemas de eliminación de impurezas. Estas se clasifican, según el nivel tecnológico que alcancen en:

- Plantas de 1^{ra} Generación
- Plantas de 2^{da} Generación
- Plantas de 3^{ra} Generación

Las plantas de 1^{ra} generación tienen mecanismos para la eliminación del acero pero carecen de mecanismos para eliminar otros contaminantes.



Figura 1.3. Foto de una Planta de 1^{ra} generación

Las plantas de 2^{da} generación además de tener mecanismos para la eliminación de acero constan de sistemas manuales de eliminación de contaminantes previos del machaqueo, elementos de limpieza y otros que clasifican el producto del machacado por vía seca o húmeda.



Figura 1.4. Foto de una Planta de 2^{da} generación

Las Plantas de 3^{ra} generación hacen una reutilización integral de los materiales secundarios.



Figura 1.5. Foto de una Planta de 3^{ra} generación

Según (Pérez Benedicto, 2011) se clasifican de acuerdo a su movilidad en fijas, semifijas, móviles y semimóviles.

- Plantas fijas: Son plantas de reciclaje ubicadas en un emplazamiento cerrado con autorización administrativa para el reciclaje de residuos de la construcción y demoliciones cuyos equipos de trituración no operan fuera del emplazamiento donde están ubicadas. (Pérez Benedicto, 2011).



Figura 1.6. Foto de una Planta Fija

- Plantas móviles: por maquinaria y equipos de reciclaje móviles que se desplazan a las obras para reciclar en origen o a centros de valorización o eliminación para operar temporalmente en dichas ubicaciones (Pérez Benedicto, 2011).



Figura 1.7. Foto de una Planta Móvil

La producción de áridos reciclados procedentes de residuos de hormigón se realiza de forma similar al proceso que se emplea para producir áridos naturales machacados. Las plantas que se emplean con dicha finalidad incorporan varios tipos de trituradoras, tamizadoras y equipos para eliminar los residuos no deseados (Gayarre, 2008).

Según (Gayarre, 2008) las plantas fijas tienen una mayor capacidad de rendimiento que las móviles, el proceso de producción empieza con la demolición selectiva y continúa con la etapa del proceso de producción.

Demolición selectiva:

Se lleva a cabo con el fin de separar y prevenir la mezcla de materiales perjudiciales como madera, cartón y plásticos de los áridos reciclados que se desean obtener. Los escombros procedentes de obras de ingeniería civil presentan una baja contaminación pero, al proceder la mayoría de los residuos de la construcción y demoliciones de estructuras de edificación, si la demolición no se realiza de forma selectiva, el proceso de separación y selección ha de realizarse, posteriormente, en la planta de reciclaje con el consiguiente aumento de costes (Gayarre, 2008).

Es indudable que el proceso de demolición selectiva resultará más caro que la demolición tradicional pero puede compensarse en parte al reducirse los costes de transporte y las tasas de vertido. No obstante presenta algunas ventajas como la reutilización directa de diversos materiales o destinar al vertido una masa que representa el 65 % de la demolición total (Gayarre, 2008).

El proceso de demolición selectiva se lleva a cabo desmantelando en primera instancia las molduras y sacando los desechos, a continuación se desmantela la carpintería de taller (puertas, ventanas, etc.) la cubierta y las instalaciones (agua, saneamiento, electricidad, gas, etc.) Posteriormente se demuele la tabiquería y, por último, se procede a la demolición de la estructura (Gayarre, 2008).

Etapas de proceso de producción de áridos reciclados:

El proceso de producción de áridos reciclados varía de unas plantas productoras a otras, según las necesidades y el destino final del producto obtenido. Los residuos de la construcción y demoliciones llegan a la planta mezclados en un contenedor descargándose en el suelo. Mediante una grúa se extraen las piezas mayores de madera, de acero, paredes aislantes y otros metales. Los bloques mayores de hormigón se reducen con un martillo hasta conseguir el tamaño adecuado (Gayarre, 2008).

Antes de triturar y clasificar el material se realiza un precibado del mismo con el fin de realizar un control de tamaño separando los más pequeños, para aprovecharlos directamente, de aquellos cuyo tamaño es mayor. Dicho sistema consta de una criba de tamaño normal 160 mm dispuesta en serie con otras cuyos tamaños habituales son 80 y 40 mm. Los rechazos en las dos primeras alimentan el molino primario (Gayarre, 2008).

La trituración primaria consta, por lo general, en las plantas fijas de un molino de impactos, un separador magnético, cabina de triaje, cribas y cintas transportadoras (Gayarre, 2008).

Una pala cargadora realiza el transporte de los residuos de hormigón desde el acopio hasta la cinta de alimentación del molino primario. Dicho molino rompe los bloques a través de la acción de pantallas solidarias al bastidor de trituración mediante esfuerzos de compresión y cizalladura. Admite tamaños hasta de 500 mm. Como molino primario también puede disponerse una machacadora de mandíbulas (Gayarre, 2008).

El separador magnético, situado a la salida del molino, separa los elementos metálicos que puedan haber quedado mezclados con el hormigón. Un separador neumático permitiría eliminar los materiales de baja densidad (Gayarre, 2008).

El material resultante pasa a una cabina de triaje donde, de manera manual, se eliminan los restos de plásticos, maderas, o metales no detectados en el separador magnético (Gayarre, 2008).

El árido reciclado se introduce en una tolva con una criba de corte de 40 mm a través de una cinta transportadora. Todo lo que pasa se transporta a otras cribas dispuestas en serie y con luces de malla correspondientes a los cortes de la grava, la gravilla y la arena formando los diferentes acopios. Lo que queda retenido pasa a la trituración secundaria (Gayarre, 2008).

En la trituración secundaria se reduce el tamaño del material utilizando otro molino de impactos hasta obtener la granulometría adecuada (Gayarre, 2008).

1.4. Tendencias del uso de árido reciclado en el mundo

En el mundo Europa está a la vanguardia, países como Alemania, Holanda y Bélgica están en la cabecera del reciclaje de escombros. Desde el punto de vista de desarrollo sostenible en el plano económico genera grandes ganancias, debido a que se ahorra combustible en el transporte de estos materiales, además, el dinero que se invertiría en la compra de áridos en cantera, sería utilizado en la solución de otros problemas constructivos. En el plano medioambiental un buen manejo de escombros minimiza el impacto ambiental, de esta forma numerosas civilizaciones han utilizado y reutilizado materiales para la construcción de su arquitectura (ya sea destruida por la guerra o por causas naturales) para la construcción de nuevos edificios (Etxeberria, 2004). Por ello se ha incursionado en la investigación y clasificación de estos residuos de construcción para un mejor uso y aprovechamiento de los mismos.

1.4.1. Experiencias del uso de áridos reciclados en el mundo

Existe a nivel mundial una amplia experiencia en la fabricación y utilización de áridos reciclados en hormigones. Mayormente se han utilizado en capas firmes de carretera fundamentalmente en capas granulares. Europa está a la vanguardia principalmente países como España, Reino Unido, Países Bajos, Francia, Austria, Japón, Alemania, Dinamarca y Suiza (Lorenzo, 2014).

España

- En Anillo Verde Ciclista en Madrid se utilizó zahorra procedente del reciclaje de demoliciones de hormigón en la segunda fase del anillo, 15 km.
- En la conexión de la A-367 con la A-357 en Málaga también se utilizaron áridos reciclados en zahorras y gravacimientos.
- El puente de Marina Seca una de las obras emblemáticas del FOURM 2004 de Barcelona se construyó utilizando hormigón reciclado en algunos de sus elementos.
- En la construcción de una vivienda unifamiliar en la calle Tato de Madrid se utilizaron 367 m³ de hormigón reciclado, de los cuales el 58 % se emplearon en la cimentación y el 42 % en la estructura del edificio.

Países Bajos

- En 1988 se emplearon aproximadamente 500 m³ de hormigón reciclado en la construcción de los estribos de un viaducto en la carretera RW-32 cerca de Mappel. Ya cuenta con 27 años de credo y se mantiene por lo que se puede ver la durabilidad de este hormigón

Alemania

- En 1993-1994 se utilizó árido reciclado para la construcción de la Sede de la Fundación Alemana para el Medio Ambiente.

Dinamarca

- Se utilizó árido reciclado en la construcción de "La casa reciclada".

Japón

- En Japón se emplean los áridos reciclados en la fabricación de bloques de hormigón prefabricados.

Bélgica

- En la ampliación del puerto de Antwerp en 1987 hubo que demoler varios muros, estos escombros fueron reutilizados en la fabricación de hormigón reciclado el cual se utilizó en el mismo puerto. El puerto ya lleva 18 años de explotación y no ha presentado problemas.

Reino Unido

- La primera experiencia práctica en la que se utilizó hormigón con áridos reciclados en el Reino Unido se llevó a cabo en Watford en el año 1995 durante la construcción de un bloque de oficinas. Se empleó hormigón triturado procedente de la demolición de un edificio de 12 plantas en el centro de Londres. El árido grueso se utilizó para la construcción de cimentaciones, pilares y forjados.

1.4.2. Normativas internacionales sobre el uso de los áridos reciclados

En el mundo existen diversas normas que rigen el uso de los áridos reciclados, estas abordan temas muy diversos, unas hablan del reciclaje, otras de los por cientos de

áridos reciclados que se deben utilizar o de cómo tratar los residuos. Un ejemplo de estas normas por países:

Estados Unidos

- *Specifications for Concrete with Recycled Aggregates, in Materials and Structures*. (RILEM, 1994)

Belgica

- “Recycling of Construction and Demolition Waste in Belgium: Actual Situation and Future Evolution”. Demolition and Reuse of Concrete and Masonry (VYNCKE and ROUSSEAU, 1994)

Australia

- ((CSIRO), 2002) (Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization): Guide to the use of recycled concrete and masonry materials.

Hong Kong

- “Specifications Facilitating the Use of Recycled Aggregates”. Works Bureau Technical Circular WBTC 12/2002. (Circular, 2002)

Alemania

- (DIN, 2002) 4226-100 “Aggregates for mortar and concrete - Part 100: Recycled aggregates”
- (DIN)1045 – Concrete. German code for the design of concrete structures.

Reino Unido

- “Recycled Aggregates: (BRE, 1998) Digest 433”

Holanda

- (NEN, 1997) 5905:1997 “Aggregates for concrete. Materials with a density of at least 2000 kg/m

Brasil

- “Recycled Aggregate Standardization in Brazil”. Universidade Estadual Paulista, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, Universidade de Taubaté – 2004. (Oliveira et al., 2004)

1.4.3. Normativas relacionadas con los impactos medioambientales de la producción y uso de los áridos

La normativa principal que rige la gestión ambiental dentro y fuera del país, asociada a la aplicación de la herramienta del ciclo de vida de un sistema o producto, es la ISO⁴ 14000. Las cuales están conformadas por un grupo de normas entre las cuales se pueden mencionar:

- Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Interpretación del ciclo de vida (ISO 14043: 2000, IDT)(NC, 2000c).
- Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Evaluación del impacto del ciclo de vida (ISO 14042: 2000, IDT)(NC, 2000b).
- Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Ejemplos de aplicación de la NC-ISO 14041 para la definición del objetivo y alcance y análisis del inventario (ISO/TR 14049: 2000, IDT) (NC, 2000a).
- Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Definición del objetivo y alcance y análisis del inventario [ISO 14041:1997 (TRADUCCIÓN CERTIFICADA), IDT](NC, 2000d).
- Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia [ISO 14040:1997 (TRADUCCIÓN CERTIFICADA), IDT](NC, 2005b).

1.4.4. Uso de árido reciclado en Cuba

Ciudad Habana genera alrededor del 37 % del total de los desechos de Cuba, casi las 2/5 partes, por lo que es importante resaltar el reciclaje en dicha provincia. Las cantidades generadas tienden a incrementarse en los últimos años, debido, entre otros factores, a la mejora del nivel de vida de la población capitalina, avalado por el incremento de los ingresos monetarios de la población, sobre todo a partir del año 2002. Las cifras de producción de RCD son elevadas, alcanzando valores alrededor de los 1170 m³ diarios, de los cuales el 5 % corresponden a los residuos de hormigón. En un año pueden estar alrededor de los 15000 m³. El 35 % de estos residuos

⁴Organización Internacional de Normalización

proviene de la demolición selectiva de edificaciones en mal estado, el 50 % de empresas constructoras y el 10 % plantas de prefabricados (Lorenzo, 2014).

Aunque con muy poca experiencias en este tema del reciclado de residuos de la construcción, nuestro país ya está llevando a cabo trabajos de este tipo. Holguín cuenta con alguna experiencia en el procesamiento de escombros con el fin de producir áridos para la producción de bloques, valorándose como solución para la obtención principalmente de piedra de 95 mm y arena, ante la imposibilidad de adquirirlas en cantidades necesarias. Desde octubre del 2012 el centro de producción de materiales de la construcción conocido en Rafael Freyre como El Tejar emplea los escombros convertidos en áridos para confeccionar bloques de 10 y 15 cm (González and Rodríguez, 2014).

A su vez, la provincia de Villa Clara en específico, la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas ha realizado estudios relacionados con el uso de áridos reciclados en el hormigón. Se destacan los resultados obtenidos en el CIDEM⁵, en la línea de investigación “Escombros”, que pertenece al proyecto Hábitat.

1.5. Revisión de los estudios realizados en el CIDEM del uso de áridos reciclados en mezclas de hormigón

El CIDEM ha realizado una serie de estudios sobre la utilización de áridos reciclado para obtener hormigones. Las investigaciones a las cuales se hará mención están escritas por los autores Maidiel Outeriño, Armando Clavero Rodríguez/ Yadir Peralta, Sabrina Nielsen y Sandra Lichtblau (Nielsen, 2013, August, 2014, González and Rodríguez, 2014, Núñez, 2014).

1.5.1. Fuente y procesamiento de áridos reciclados. Propiedades físico-químicas

En la investigación de Yadir Peralta González y Armando Clavero Rodríguez (González and Rodríguez, 2014) los residuos fueron recolectados en la fábrica de

⁵ Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales

hormigón Chiqui Gómez y luego trasladados a la Unidad Empresarial de Base (UEB) “Armando Mestre” en el municipio de Encrucijada, allí se procedió a moler el material para convertirlo en áridos reciclados. De este proceso se obtuvieron tres facciones de áridos:

- Gravilla (25-13)
- Granito (13-5)
- Arena(5-0)

En la tesis no se presentan los resultados de los ensayos a los áridos reciclados en los cuales se debe dar a conocer las propiedades físico-químicas.

Maidiel Outeriño (Núñez, 2014) en su trabajo de diploma utilizó como materia prima para la elaboración de áridos reciclados la planta de prefabricado de Alamar en la Habana dado a la calidad de sus residuos que provienen de panales del sistema constructivo IMS y a la cercanía con que se encuentra del Centro Técnico de Desarrollo para Materiales de la Construcción (CTDMC) donde fueron procesados.

Se obtuvo árido grueso reciclado de granulometría entre 25,4 y 4,75 mm y árido fino reciclado con tamaño menor a 4,75 mm .

Los ensayos se realizamos según la (NC, 2005a) dando como resultado:

En áridos reciclados gruesos (ARG)

- % de absorción: 7,43
- PEC: 2,27 g/cm³
- PES: 2,44 g/cm³
- PEA: 2,74 g/cm³
- Peso volumétrico suelto: 1179 kg/m³
- Peso volumétrico compactado: 1320 kg/m³

En áridos reciclados finos (ARF)

- % de absorción: 7,78
- PEC: 2,23 g/cm³
- PES: 2,41 g/cm³
- PEA: 2,70 g/cm³

- Peso volumétrico suelto: 1374 kg/m³
- Peso volumétrico compactado: 1477 kg/m³
- Módulo de finura: 4,2

En la investigación de Sabrina Nielsen (Nielsen, 2013) los escombros fueron recopilados de la planta de hormigón de Santa Clara y procesados en Manicaragua no se da información de sus propiedades físico-químicas.

En la investigación de Sandra Lichtblau August (August, 2014) los residuos fueron recolectados de la planta de hormigón de Santa Clara y trasladados hacia El Purio donde fueron triturados en la misma máquina que los áridos naturales.

1.5.2. Mezclas empleadas

Maidiel Outeriño y Yadira Peralta/Armando Clavero (González and Rodríguez, 2014, Núñez, 2014) coinciden al utilizar los diseños de mezclas siguientes:

- **R0** (Hormigón con áridos reciclados y 0 % de finos)
- **R3** (Hormigón con áridos reciclados y 3 % de finos)
- **R6** (Hormigón con áridos reciclados y 6 % de finos)
- **N0** (Hormigón con árido natural y 0 % de finos)
- **N3** (Hormigón con árido natural y 3 % de finos)
- **N6** (Hormigón con árido natural y 6 % de finos)
- **M0** (Hormigón optimizado 25 % ARG⁶ y 75 % ANG⁷ y 0 % de finos)
- **M3** (Hormigón optimizado 25 % ARG y 75 % ANG y 3 % de finos)
- **M6** (Hormigón optimizado 25 % ARG y 75 % ANG y 6 % de finos)

Por su parte Sabrina Nielsen (Nielsen, 2013) utilizó los diseños de mezcla que se muestran:

- 100 % CRCA(árido reciclado grueso)
- 75 % CRCA(árido reciclado grueso)

⁶ Árido reciclado grueso

⁷ Árido natural grueso

- 50 % CRCA(árido reciclado grueso)
- 25 % CRCA(árido reciclado grueso)
- 0 % CRCA(árido reciclado grueso)

Sin embargo los diseños de Sandra Lichtblau (August, 2014) son:

- **M1** (Hormigón optimizado 0 % ARG, 100 % ANG y 100 % ANF⁸)
- **M2** (Hormigón optimizado 25 % ARG, 75 % ANG, 50 % ANF y 50 % ARF⁹)
- **M3** (Hormigón optimizado 100 % ARG, 0 % ANG, y 100 % ARF)

1.5.3. Materiales utilizados en las mezclas. Propiedades mecánicas y físico-químicas

Los materiales utilizados en la mezcla la tesis de Yadira y Armando (González and Rodríguez, 2014) se describen a continuación:

El cemento utilizado procede de la fábrica Siguaney, ubicada en la provincia de Santi Spíritus y de acuerdo a la NC 54 205:80 se clasifica como un cemento Portland P-35. La cantidad de cemento utilizada para 1m³ es 440 kg y la relación a/c efectiva es 0,42.

Tabla 1.1 Características del cemento

Ensayos	Unidad	Resultados	Especificaciones
Tiempo de fraguado inicial	Min	175	≥ 45
Tiempo de fraguado inicial	h	3,25	≤ 10
Consistencia normal	%	34	
Finura de molido tamiz 170	%	0,3	

Fuente: (González and Rodríguez, 2014)

La gravilla de la cantera Mariano Pérez (El Purio) y proviene de la trituración de rocas marmóreas con alto grado de contenido de dureza, presentando las siguientes propiedades:

- % de absorción: 2,9
- PEC: 2,5 g/cm³
- PES: 2,56 g/cm³
- PEA: 2,7 g/cm³
- Peso volumétrico suelto: 1369 kg/m³

⁸ Árido natural fino

⁹ Árido reciclado fino

- Peso volumétrico compactado: 1512 kg/m³
- Módulo de finura: 0,83

La arena también proviene de la cantera Mariano Pérez (El Purio) de una roca caliza graduada entre 9,52 y 0,149 con una densidad de uso de 2,6 g/cm³, la cual presenta las siguientes propiedades:

- % de absorción: 1,6
- PEC: 2,59 g/cm³
- PES: 2,63 g/cm³
- PEA: 2,7 g/cm³
- Peso volumétrico suelto: 1618 kg/m³
- Peso volumétrico compactado: 1873 kg/m³
- Módulo de finura: 1,85

El aditivo que se utilizó fue Dynamón Sx-32, solución acuosa al 21 % de polímeros acrílicos, exenta de formaldehído, capaz de dispersar eficazmente los gránulos de cemento con componentes secundarios que mejoran noblemente la cohesión y la facilidad de bombeo del hormigón. Además de ser un superplastificante reductor de agua de alto rango es de última generación. La dosificación en volumen es de 0,5 a 1,5 L por cada 1000 kg de cemento.

Este aditivo tiene tres tipos de función:

1. Para reducir sólo el agua al hormigón, manteniendo la consistencia. Se obtiene como consecuencia, un aumento de la resistencia mecánica, reducción de la permeabilidad y un incremento de la durabilidad.
2. Para incrementar la consistencia de buena calidad (resistencia mecánica, impermeabilidad, durabilidad).
3. Para reducir tanto el agua como el cemento (en igual proporciones) dejando inalterada la relación agua/cemento y las propiedades del hormigón.

El cemento utilizado en las mezclas de la tesis de Maidiel (Núñez, 2014) proviene del Mariel y según NC-95:2001 se clasifica como un Cemento Portland P-35.

Tabla 1.2 Características del cemento usado

Ensayos	UM	Resultados	Especificaciones
Tiempo de fraguado inicial	min	145	≥ 45

Tiempo de fraguado final	h	4,15	≤ 10
Consistencia normal	%	24,6	
Finura de molido tamiz 170	%	6	

Fuente: (Núñez, 2014)

La arena es procedente de Quiebra Hacha, producto de la trituración de rocas calcarenitas, con una granulometría que se encuentra entre 4,76mm y 0,149mm y presenta las siguientes propiedades:

- % de absorción: 1,2
- PEC: 2,59 g/cm³
- PES: 2,62 g/cm³
- PEA: 2,67 g/cm³
- Peso volumétrico suelto: 1471 kg/m³
- Peso volumétrico compactado: 1586 kg/m³
- Módulo de finura: 3,8

La grava de la cantera de Alacranes, proviene de la trituración de rocas calizas organógenas, esta planta se encuentra en Matanzas y presenta las siguientes propiedades:

- % de absorción: 1,01
- PEC: 2,63 g/cm³
- PES: 2,65 g/cm³
- PEA: 2,70 g/cm³
- Peso volumétrico suelto: 1334 kg/m³
- Peso volumétrico compactado: 1443 kg/m³

Los áridos reciclados provienen de la trituración de desechos de la planta de Alamar como se explica anteriormente.

El aditivo empleado es Dynamón SRC-20 es una solución acuosa al 22% de polímeros acrílicos (sinformaldehidos) capaces de dispersar de forma eficaz los gránulos de cemento, además funciona como un superplastificante para hormigones premezclados caracterizados por una baja relación agua- cemento, altas resistencias mecánicas y aumento del tiempo de laborabilidad. El productor recomienda su uso de 0,5 a 1 L por cada 100 kg de cemento, es decir de 0,5 al 1 % del peso del cemento.

En los trabajos de investigación de Sabrina y Sandra (Nielsen, 2013, August, 2014) no se explican los materiales utilizados en las mezclas ni sus propiedades físico-químicas.

1.5.3. Consideraciones finales sobre los estudios realizados en el CIDEM

La Tabla 1.3 muestra un resumen de los estudios realizados en el CIDEM sobre el uso de los áridos reciclados en mezclas de hormigón. En ella se observa que las tesis de Sabrina y Sandra coinciden en la procedencia de los escombros siendo de la Planta de prefabricado de Santa Clara. Los cuatro estudios tienen diferentes lugares de procesamiento de los residuos. A pesar de que todos utilizan cemento P-35 para sus experimentos, Sandra y Sabrina no declaran el lugar de fabricación.

Tabla 1.3 Resumen de los estudios realizados por el CIDEM

Tesis de →	Maidiel	Yadira y Armando	Sabrina	Sandra
Fuente de los escombros	Planta de prefabricado de Alamar en la Habana	Fábrica de hormigón Chiqui Gómez en Villa Clara	Planta de prefabricado de Santa Clara	Planta de prefabricado de Santa Clara
Lugar de procesamiento	Centro Técnico de Desarrollo para Materiales de la Construcción (CTDMC).	Unidad Empresarial de Base (UEB) "Armando Mestre" (Encrucijada)	Manicaragua	El Purio
Tipo de Cemento	P-35	P-35	P-35	P-35
Fuente del Cemento	Mariel	Siguaney	-	-
Fuente de la Arena	Quiebra Hacha	El Purio	El Purio	El Purio
Fuente de la Grava	Alacranes	El Purio	El Purio	El Purio
Tipo de Aditivo	Dynamón SRC-20	Dynamón Sx-32	Sx33;Sx32	Sx32
Mezclas Empleadas	R0, R3, R6, N0, N3, N6, M0, M3, M6	R0, R3, R6, N0, N3, N6, M0, M3, M6	100 % CRCA 75 % CRCA 50 % CRCA 25 % CRCA 0 % CRCA	M1, M2,M3
Estudio de impacto	No tiene	No tiene	No tiene	No tiene

Fuente: Elaboración propia a partir de: (Nielsen, 2013, González and Rodríguez, 2014, Núñez, 2014)

La cantera más utilizada para la extracción de la arena y la grava es El Purio y el aditivo común en los trabajos de diploma es el Sx-32. En el caso de las mezcla empleadas, Maidiel coinciden con Armando y Yadira utilizando **R0, R3, R6, N0, N3, N6, M0, M3, M6**.

Ninguno de los trabajos realizados presentan los imprescindibles estudios de impacto, por lo que no se conoce la influencia de estas mezclas en el medio ambiente, en lo económico, ni en lo social. No obstante constituyen la plataforma teórica inicial del uso de áridos reciclados para la fabricación de hormigones.

Sin embargo, ya existe una experiencia práctica en el municipio de Manicaragua con dos pequeñas plantas de reciclaje ubicadas en el Taller de Eco-materiales de la construcción. Allí se fabrican además bloques de 10 y 15 cm, los que serán el objeto de estudio en los próximos capítulos permitiendo realizar una evaluación inicial de los impactos asociados no solo a su fabricación, sino a su uso en obras constructivas.

1.6. Conclusiones Parciales

1. El elevado consumo de áridos para la producción de hormigón extraído en canteras provoca un impacto ambiental desfavorable a la vez que constituye un recurso no renovable.
2. Una alternativa para disminuir el impacto y la extracción en las canteras es la utilización de áridos reciclados.
3. Ninguno de los estudios realizados en el CIDEM sobre áridos reciclados presenta estudio de impacto ambiental.
4. Existen diversas normas que rigen el uso de los áridos reciclados, otras como son el grupo de normas ISO 14000 definen la gestión ambiental y análisis del ciclo de vida, así como la evaluación del impacto del ciclo de vida.



Capítulo II

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL TALLER DE ECOMATERIALES DE MANICARAGUA

El presente capítulo abordará aspectos esenciales sobre la caracterización de la Empresa Provincial de Construcción y Mantenimiento de Villa Clara y el Taller de Ecomateriales de la construcción de Manicaragua Agrupación 7 perteneciente a la misma.

2.1. Caracterización de la Empresa Provincial de Construcción y Mantenimiento Villa Clara

La Empresa Provincial de Construcción y Mantenimiento de Villa Clara, creada mediante la Resolución No. 922 del 26 de Diciembre de 1980, dictada por la Junta Central de Planificación, perteneciente al Poder Popular, tiene sita en la Ciudad de Santa Clara con dirección: Colón No. 53 e/ Candelaria y San Cristóbal.

Actualmente la empresa cuenta con un total 1501 trabajadores de ellos el 62 % representa a los obreros, un 13 % trabajadores de servicios, el 2 % personal administrativo, los técnicos ocupan un 12 % y un 11 % los dirigentes. El 77,7 % de la fuerza laboral es hombre y el 22,3 % mujeres. Para el cumplimiento de su misión cuenta con una estructura organizativa donde los procesos claves se centran en las 16 agrupaciones productivas, asignadas a diferentes municipios de la provincia. Su objeto social está aprobado por la Resolución No. 609/11 de 7 de Septiembre de 2011 del Ministerio de Economía y Planificación.

Objeto Social

1. Brindar servicios de construcción civil y montaje de nuevas obras, edificaciones e instalaciones; de demolición, reconstrucción y rehabilitación de edificaciones, instalaciones y otros objetivos existentes, así como de reparación y mantenimiento constructivo.
2. Producir y comercializar hormigón asfáltico.
3. Brindar servicios técnicos de proyectos e ingeniería en nuevas edificaciones o ampliaciones de viviendas hasta tres niveles, diseño de interiores y exteriores y proyectos de rehabilitación de viviendas hasta cualquier nivel de altura.

Misión: Brindar servicios de construcción en general, producción y comercialización de materiales de la construcción para satisfacer las necesidades sociales, con calidad y eficiencia y con una fuerte influencia de la confianza en el éxito, la rentabilidad, seriedad y responsabilidad de nuestro capital humano.

Visión: Nos distingue la excelencia empresarial, basada en una cultura organizacional caracterizada por elaborar materiales de construcción, construir, reparar, restaurar, dar mantenimientos a obras sociales y viviendas de elevada calidad; con un personal técnico y de dirección preparado y comprometido con la política de Gestión de la Calidad, ampliando nuestro mercado basándonos en la confianza, seriedad y responsabilidad de nuestra acción.

2.2. Caracterización del Taller de Eco-materiales de Manicaragua

El Taller de Eco-materiales de la Construcción perteneciente a la Empresa Provincial de Construcción y Mantenimiento (EPCM) Agrupación 7 está ubicado en la carretera Circunvalación, en el municipio Manicaragua el cual está en la región central del país, al sur de la provincia de Villa Clara, limita al norte con el municipio de Santa Clara, por el este Placetas y Fomento (municipios de la provincia de Sancti Espíritus), al sur con Trinidad (municipio de la provincia de Santi Espíritus) y Cumanayagua, municipio de la provincia de Cienfuegos y por el oeste con los municipios de Cumanayagua (municipio de la provincia de Cienfuegos) y Ranchuelo (municipio de la provincia de Villa Clara). Tiene un área de 1063,39 km², ocupando el primer lugar en extensión territorial de la provincia y el 19 en el país, con una densidad poblacional de 67,6 hab/km², inferior a la media provincial (96,1).



Figura 2.1. Mapa de la ubicación geográfica del municipio de Manicaragua

Misión:

Brindar servicios de construcción, producción, rehabilitación y comercialización de materiales de la construcción para satisfacer necesidades sociales, con calidad y eficiencia; encaminado a la satisfacción de las demandas del municipio; a través de la preparación, rentabilidad, seriedad y responsabilidad de nuestro capital humano, que contribuya al desarrollo de la industria de materiales de la construcción.

Visión:

Seremos líderes en la construcción, reparación, restauración y mantenimiento de obras sociales y viviendas, así como la producción de materiales de la construcción; con un personal técnico y de dirección preparado y comprometido con la política de gestión de la calidad; que amplíe nuestro mercado, al basarnos en la confianza, seriedad y responsabilidad de nuestra acción.

La entidad cuenta con un total de 11 trabajadores, organizados en una brigada compuesta por un Jefe de Brigada, 5 trabajadores producen bloques de 10 y 15 cm, 2

trabajadores, tejas del tipo TMC y 3 trabajadores, otros materiales (vigas, tabletas, lavaderos, tanques de agua, celosía y balaustres).

Objetivos para el año 2015:

Perfeccionamiento Empresarial.

1. Fortalecer el Funcionamiento del Consejo de Dirección de la Agrupación con una Evaluación Trimestral.
2. Lograr cambios en la organización interna de la empresa y su sistema de gestión empresarial.

Gestión Económica y control.

1. Cumplir al 100 % los Indicadores de Eficiencia Económica Planificados para el 2015.
2. Consolidar la implementación de la Resolución 60 de la Contraloría General de la República de Cuba en sus 5 componentes con un alcance efectivo en todos los establecimientos de la Empresa

Cuadro.

1. Fortalecer la preparación integral de los cuadros y reservas en función de una mayor eficacia.

Recursos Humanos

1. Cumplir los Indicadores de trabajo y Salarios Planificados.
2. Elevar la preparación integral de los trabajadores en función de las actividades que realizan y que el salario que se pague, este en correspondencia con los resultados de la Empresa.

Servicios de construcción, reparación y producción de materiales.

1. Lograr una mayor objetividad en cuanto al cumplimiento de la Contratación y Ejecución de las Obras y el Plan Técnico Económico en Inversiones, Reparaciones, Rehabilitaciones y Conservación.
2. Lograr una producción local de materiales, que garantice el funcionamiento eficiente de la empresa, descargar el suministro centralizado de los recursos planificados y lograr un excedente a disposición del CAP, asegurando su

sostenibilidad, aportando significativamente a la autarquía de los municipios y como apoyo para elevar la residencia habitacional.

Mecanización.

1. Disminución del Índice de Portadores Energético, logrando eficiencia en la productividad de cada vehículo, elevando la Disponibilidad Técnica y mantenimiento de los mismos en la Agrupación.

Comedores obreros.

1. Lograr mantener la calidad del servicio de nuestro Comedor Obrero y manteniéndolo con ganancias durante todo el año.

Atención a la Población.

1. Continuar mejorando los indicadores claves que inciden en la satisfacción de la población.

La fortaleza que tiene el taller es que cuenta con el patio de materiales al lado que es una fuente de obtención de escombros cuando hay despacho de materiales.

A partir de un trabajo realizado con un grupo de expertos de la Empresa de Mantenimiento Constructivo de Manicaragua se pudo valorar que existen deficiencias.

1. No se cuenta con los útiles y herramientas necesarios para la ejecución de las actividades productivas.
2. Insuficiente motivación de los trabajadores, existe inconformidad con los sistemas de pagos vigentes.
3. Los recursos entregados por los proveedores (ocasionalmente) no reúnen la calidad para el cumplimiento del objeto para los cuales están concebidos.
4. Los recursos asignados para el cumplimiento de los planes son entregados con déficit y retraso por parte de los proveedores.
5. Deficiente atención al hombre (alimentación, ropa, calzado, etc.).
6. Utilización de medios artesanales para la fundición de varios renglones elaborados en el taller.
7. Insuficientes medios tecnológicos en la actividad del taller, significando que los existentes presentan una tecnología obsoleta.

8. La tecnología con más de 10 años de explotación y pocas piezas de repuesto no rinde al 100 % .
9. No se hacen asiduamente prueba de muestra a los hormigones por no existir probetas de ensayo.
10. Respaldo insuficiente por parte de los suministradores.
11. La producción de materiales no satisface la necesidad de la población.
12. El taller no posee medios técnicos para la transportación de materiales que humanicen el trabajo.
13. Dificultades en el aseguramiento de la transportación y combustible para el acarreo de los recursos.

2.3. Fuente y procesamiento de los áridos reciclados

Una parte de los escombros son obtenidos de la misma entidad provenientes de residuos de la producción o elementos que se rompen en la transportación, la otra parte es proveniente de los escombros que se acumulan en el patio de venta de materiales a la población del MINCIN los cuales se recogen cada 3 o 4 días obteniéndose un volumen de 3 m³ aproximadamente.



Figura 2.2. Foto de escombros del Patio del MINCIN



Figura 2.3. Foto de escombros del taller

Los residuos son procesados en el Molino de “Quijá” para la obtención de árido grueso y en el Molino de Martillo para obtener árido fino.

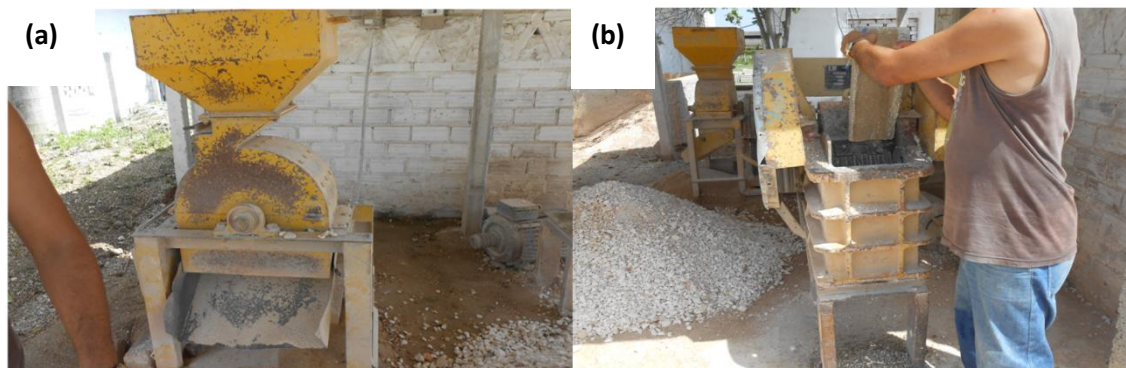


Figura 2.4. (a) Foto de una Planta Molino de Martillo (b) Foto de una Planta Molino de “Quijá”



Figura 2.5. (a) Foto de árido fino reciclado en el Molino de Martillo (b) Foto de árido grueso reciclado en el Molino de “Quijá”

2.3.1. Descripción de la tecnología del Taller

La Tabla 2.1 muestra las maquinarias con las que cuenta el Taller de Eco-materiales de Manicaragua, el rendimiento de las mismas en una jornada de trabajo y el consumo de energía en kw/h .

Tabla 2.1. Maquinarias del Taller de Eco-materiales

Tipo de Máquina	Consumo	Rendimiento en 8h de Trabajo
Máquina tejas tevis	1,2 kW/h	140 tejas/ 8h
Máquina de bloques	3,5 kW/h	900 bloques/8h
Molino Quijá (piedra)	5 kW/h	4 m ³ /8h
Molino Martillo (polvo de piedra)	5 kW/h	4 m ³
Molino bola Cemento	5,5 kW/h	600 kg/8h
Moldes para Vigas de Hormigón		36 ml/8h
Moldes para Tabletillas (0,60·0,30·0,03) m		150 U/8h
Moldes para Tabletillas (0,88·0,59·0,04) m		100 U/8h
Moldes para Celosía		132 U/8h
Moldes para Balaustres		12 U/8h
Moldes para Tanques de 1100 L		2 U/8h

Fuente: Elaboración propia a partir de visita al taller.

2.4. Demanda de materias primas para el plan de producción mensual

El Taller de Eco-materiales tiene una demanda de materias primas para lograr cumplir con el plan de producción mensual las cuales tienen que ser suministradas por la empresa de:

- ✓ 90 m³ de granito
- ✓ 10 m³ de arena artificial
- ✓ 5 m³ de gravilla
- ✓ 30 m³ de arena lavada
- ✓ 40 m³ de polvo de piedra
- ✓ 30 ton de cemento

Solo llegan al taller por problemas de la empresa lo siguiente:

- ✓ 10 m³ piedra de hormigón
- ✓ 5 m³ de arena artificial
- ✓ 10 m³ arena lavada
- ✓ 10 m³ gravilla
- ✓ 30 m³ de granito
- ✓ 20 m³ de polvo de piedra

2.4.1. Fuentes de obtención de materias primas

El granito, la piedra de hormigón, la arena artificial y el polvo de piedra son obtenidos de la cantera El Purio ubicada a 77 km aproximadamente, la gravilla de la cantera Armando Mestre ubicada a 89 km aproximadamente, la arena lavada de la cantera El Hoyo ubicada a 11 km aproximadamente, el cemento es proveniente la fábrica Carlos Mark de Cienfuegos ubicada a 65 km aproximadamente y la grava de la Macagua ubicada a 15 km aproximadamente. El costo de transportación de las canteras se observa en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Costo de transportación de las canteras

Canteras	Equipo	Capacidad Equipo	UM	Distancia recorrida km	Costo de transportación en \$
El Purio	Volteo	10	m ³	78	218,4
Armando Mestre	Volteo	10	m ³	89	249,2
Sergio Soto (El Hoyo)	Volteo	10	m ³	14	39,2
UEB Camilo Cienfuegos	Tolva	30	t	65	351

Fuente: Elaboración propia a partir de visita al Taller

2.4.2. Productos que se fabrican

Los productos que se fabrican en estas instalaciones son los siguientes:

1. Bloques de (10·20·40) cm .
2. Bloques de (15·20·40) cm .
3. Vigas de hormigón de 3,2 m hasta 4 m de longitud, de sección I de 15 cm de peralte, de 0,12 a 0,14 m de ala y 0,10 m de alma.
4. Tabletillas de techo de (0,6·0,3·0,03) m y de (0,88x0,59x0,04) m .
5. Balaustres redondos de 0,5 m y 0,75 m de altura.
6. Celosías de hormigón.
7. Tejas de micro concreto TMC.
8. Losas hexagonales.
9. Mesetas de hormigón de (1,5·0,6·0,05) m .
10. Tanques de agua de 1100 L .
11. Lavaderos
12. Fregaderos
13. Postes para cercas.

En la Figura 2.6 se observan los productos fabricados en el Taller.



Figura 2.6 Foto de los productos producidos en el taller

Producción diaria

En el Taller se fabrican diariamente 800 bloques, 15 vigas de hormigón, 100 tabletas de techo (50 de cada tipo), 18 balaustres por deficiencias o faltade moldes, 150 celosías de hormigón diarias, 150 tejas de microcemento (TMC), 100 losas hexagonales, 6 o 7 mesetas de hormigón, 5 lavaderos y 4 fregaderos.

El Taller cuenta con un Molino de Bola el que puede hacer diariamente 1 t de cemento de bajo carbono, 1 t de cemento puzolánico y 1 t de cemento romano.

2.5. Tabla de gasto de producción de los materiales

En la Tabla 2.3 se muestran los gastos de salario, de materiales, de transporte, de energía y los gastos indirectos de los distintos productos que se fabrican en el Taller.

Tabla 2.3 Gasto de producción de los materiales

Producto	UM	Gastos (\$) de:					
		Salario	Material	Transporte	Energía	Indirecto	Total
Bloques de 10	U	0,1133	0,2855	0,1778	0,0321	0,1039	0,7126
Bloques de 15	U	0,1691	0,3522	0,2186	0,0215	0,1551	0,9165
TMC	U	0,4092	0,1112	0,0494	-	0,2832	0,8530
Tanques	U	60,3617	65,8181	31,6776	-	41,7600	199,62
Lavadero	U	20,4674	1,7586	0,9303	-	14,1600	37,316
Celosías Yee	U	0,8604	0,2675	0,1398	-	0,5952	1,8629
Balaustres	U	2,5585	0,7505	0,2012	-	1,7700	5,2802
CP-40	kg	0,1207	0,1492	0,0236	-	0,0835	0,3770
Vigas de Hormigón	m	0,5861	1,8249	0,4458	-	0,5373	3,3941
Terrazo (Mesetas)	m ²	14,7643	10,0288	2,0279	-	13,5341	40,356

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en el Taller

2.6. Alternativas para el estudio de impacto

Los escenarios o alternativas como también se le puede llamar, a tener en cuenta para realizar el estudio de impacto son los bloques de 10 y de 15 cm. La comparación se llevará a cabo entre dos tipos de dosificaciones para su fabricación, la primera utilizando como áridos: granito, polvo de piedra y arena lavada provenientes de las

canteras, bajo la denominación de bloques con árido natural (AN) y la segunda utilizando como áridos: granito y polvo de piedra provenientes del reciclado con la adición de grava procedente de residuos de cantera, con la denominación bloques con árido reciclado (AR). Las dosificaciones empleadas en cada alternativa se muestran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Dosificaciones de los elementos de estudio

Materiales	Bloques de 10 cm		Bloques de 15 cm	
	Árido natural	Árido reciclado	Árido natural	Árido reciclado
Cemento	1,39 kg	1,67 kg	1,72 kg	2,2 kg
Arena lavada	0,003 m ³	0,001 m ³	0,004 m ³	0,001 m ³
Polvo de piedra	0,0007 m ³	0,0007 m ³	0,001 m ³	0,001 m ³
Granito	0,005 m ³	0,0025 m ³	0,006 m ³	0,003 m ³
Grava		0,0045 m ³		0,006 m ³

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en el Taller

2.7. Conclusiones Parciales

1. El Taller no cuenta con la documentación requerida para la realización de un Diagnóstico Ambiental de calidad en dicha entidad.
2. Se recoge diariamente aproximadamente un m³ de residuos entre los propios del Taller y los del patio del MINCIN.
3. No le llegan las materias primas necesarias para el cumplimiento del plan de producción mensual por problemas de la Empresa de Mantenimiento.
4. Los bloques son la producción más importante del Taller, en ellos se utilizan materias primas recicladas obteniéndose una producción diaria de 800 unidades.



Capítulo III

CAPÍTULO 3: IMPACTOS ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN BLOQUES DE HORMIGÓN EN EL TALLER DE ECO-MATERIALES DE MANICARAGUA

En este capítulo se presentan a través de la herramienta del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) los impactos ambientales, económicos y sociales, en el proceso de producción de bloques de hormigón de 10 cm y de 15 cm con árido natural (AN) y árido reciclado (AR) fabricados en el Taller de Eco-materiales de Manicaragua.

En la Figura 3.1 se muestran las categorías que se tienen en cuenta por cada tipo de impacto, reflejando además que el ACV de los bloques, expuesto de forma integral, evidencia las tres dimensiones del problema en cuestión, a partir del Análisis de Ciclo de vida (ACV) Ambiental, Análisis de Costos Ciclo de Vida (CCV) y Análisis de Ciclo de Vida (ACV) Social.

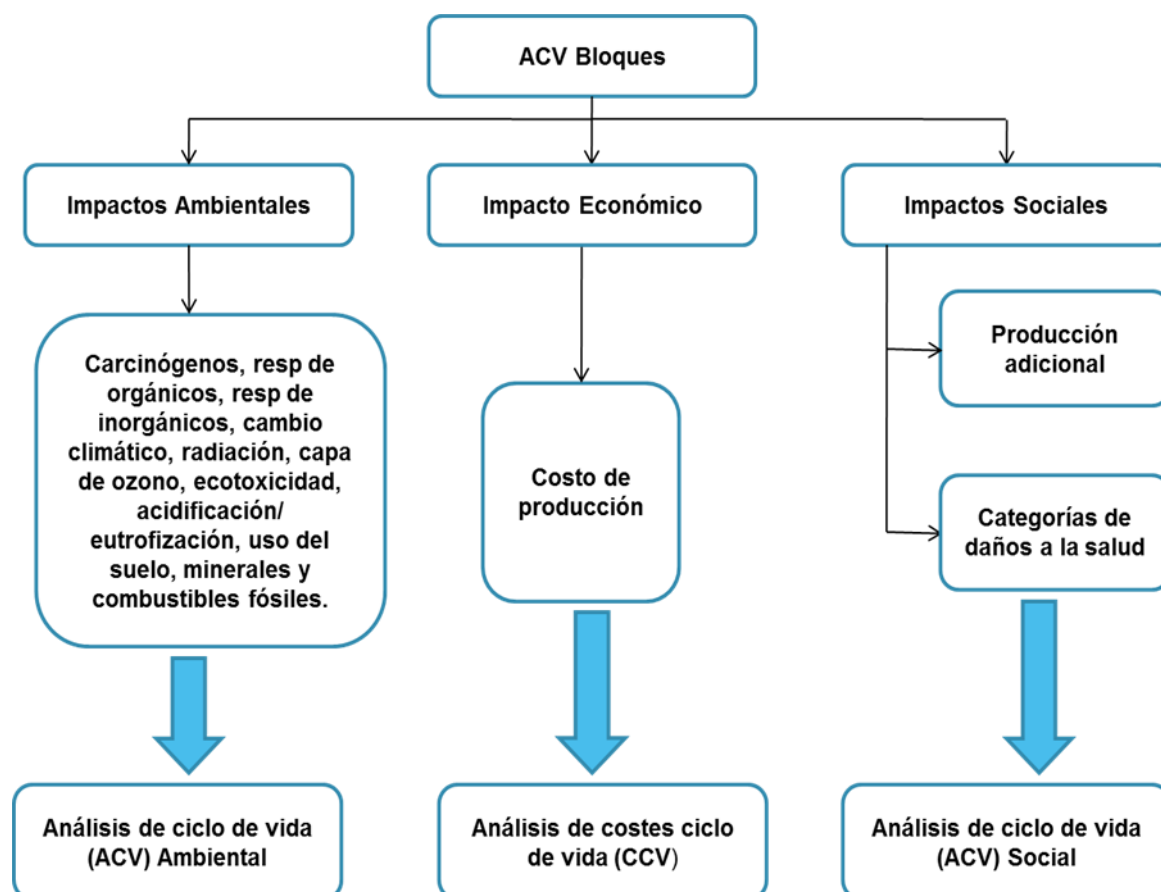


Figura 3.1 Análisis de ciclo de vida de los bloques

3.1. Impacto ambiental

Para la evaluación del impacto ambiental se utilizó la herramienta análisis del ciclo de vida (ACV), que tiene en cuenta el ciclo de vida del sistema, las entradas (materias primas) y salidas (emisiones al aire, agua y suelo) en el proceso. Este impacto ambiental se refleja mediante los llamados Eco indicadores, que no son más que números que expresan valores de impactos totales de un proceso o producto. En cuanto mayor sea el número, mayor será el impacto ambiental. Además, el valor absoluto de los puntos no es relevante ya que el objetivo principal es el de comparar las diferencias relativas entre las categorías de impacto de las alternativas.

Los resultados de la investigación se obtienen con la aplicación del programa computarizado SIMAPRO7.3 y la metodología que se le aplica es Eco indicador 99.

Según la (NC, 2005b) el ACV es una técnica para evaluar los aspectos y los impactos ambientales asociados con un producto, mediante:

- La recopilación en un inventario de las entradas y salidas pertinentes de un sistema producto.
- La evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con las entradas y salidas.
- La interpretación de los resultados de las fases de análisis del inventario y de evaluación del impacto en relación con los objetivos del estudio.

El ACV estudia los aspectos e impactos ambientales potenciales a lo largo de la vida de un producto, a partir de la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, el uso y la disposición final. Las categorías generales de los impactos ambientales que necesitan ser consideradas incluyen el uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas.

El ACV puede ayudar en:

- ✓ La identificación de oportunidades para mejorar aspectos ambientales de productos en varios puntos de su ciclo de vida.
- ✓ La toma de decisiones tanto en la industria como en las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, por ejemplo, la planificación

estratégica, fijación de prioridades así como el diseño y rediseño de productos o procesos.

- ✓ La selección de indicadores de desempeño ambiental pertinentes, incluyendo técnicas de medición y mercadotecnia, por ejemplo, una declaración ambiental, un esquema de etiqueta ambiental o eco-etiqueta, o una declaración ambiental de producto.

Fases del ACV

- 1- Definición de la meta de alcance.
- 2- Análisis del inventario.
- 3- Evaluación del impacto.
- 4- Interpretación de los resultados.

3.1.1. Definición de los objetivos y alcance del estudio de ACV

En esta primera etapa el ACV trata de definir cuáles son las metas del estudio, o sea, los objetivos. En el presente trabajo, el objetivo de la herramienta es medir y comparar el impacto medioambiental que se produce en los bloques de hormigón cuando son producidos con árido natural o se le incorpora árido reciclado.

En esta etapa inicial el ACV tiene que definir además, una unidad funcional, que no es más que el sistema o producto que vaya a ser analizado, para este caso son los bloques de hormigón de 10 y 15 cm.

3.1.2. Análisis del inventario de ACV

Según la (NC, 2005b) el análisis del inventario implica la recolección de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas pertinentes del sistema o producto.

En la Tabla 3.1 se encuentra reflejado el inventario de entradas y salidas del sistema para un bloque, con las cuatro alternativas propuestas. Los datos fueron recogidos mediante entrevistas realizadas al jefe de producción del Taller, considerado el experto de la entidad. La tabla muestra que en su composición tanto el bloque de 10 como el

de 15 cm producidos con AR, necesitan durante el proceso menos agua debido a que la tienen incorporada, por otra parte se reduce el contenido de árido natural que se muestra como arena lavada, ya que se le incorporan otros componentes reciclados, como es el caso del granito, polvo de piedra y la grava. La dosificación de cemento aumenta para cumplir con los parámetros de resistencia.

En el caso de la electricidad se ha tenido en cuenta la misma para las cuatro alternativas, considerando solo la de la máquina de bloques.

En las alternativas con AR no se tiene en cuenta la transportación de los materiales (granito y polvo de piedra), ya que estos son obtenidos en el taller.

Tabla 3.1. Inventario de entradas y salidas del sistema para cada alternativa.

Entradas y Salidas del sistema o producto para cada alternativa	Unidad de Medida	Valor Numérico			
		Bloque de 10		Bloque de 15	
		AN	AR	AN	AR
<i>Entradas de la Naturaleza</i>					
Agua	L	0,72	0,54	0,88	0,66
Árido					
• Arena lavada	kg	4,092	1,364	5,456	1,364
• Granito	kg	7,125	3,5625	8,55	4,275
• Polvo de piedra	kg	0,973	0,973	1,39	1,39
• Grava	kg		6,39		8,52
Terreno Ocupado	m ² /año	0,04	0,04	0,06	0,06
Electricidad					
• 220 V	kW/h	5	5	5	5
Transporte áridos					
• Arena	km/kg	45,012	15,004	60,016	15,004
• Granito	km/kg	548,625	0	658,35	0
• Polvo	km/kg	74,921	0	107,03	0
• Grava	km/kg		95,85		127,8
Transporte cemento	km/kg	90,35	108,55	111,8	143
Cemento	kg	1,39	1,67	1,72	2,2
• Polvo	kg/m ³	0,0002	0,00015	0,00025	0,0002
• Probetas	m ³	0,009		0,011	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el Taller

En esta etapa de análisis de inventario, el ACV debe contar con el diagrama de flujo sobre el proceso (Trujillo, 2014), tomando como base el sistema de producción de la unidad funcional que para este caso son los bloques fabricados con AN de 10 y 15 cm, agregando inmediatamente, los procesos adyacentes correspondientes, entre los que se encuentran: los procesos auxiliares, el transporte y el suministro de energía, como se observa en la Figura 3.2.

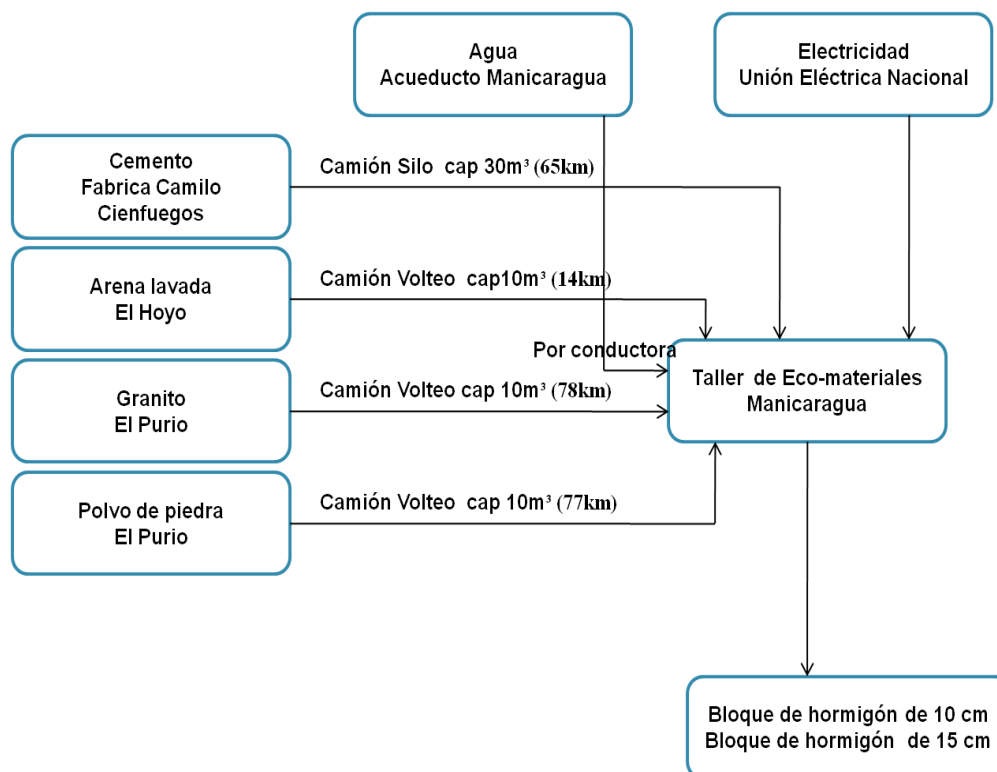


Figura 3.2 Diagrama de flujo sobre el proceso de producción de bloques de hormigón con árido natural

En la Figura 3.3 se refleja el diagrama de flujo sobre el proceso, tomando como base el sistema de producción de la unidad funcional que son los bloques fabricados con AR de 10 y 15 cm, se le agregan los procesos adyacentes correspondientes como en la figura anterior, entre los que se encuentran: los procesos auxiliares, el transporte y el suministro de energía.

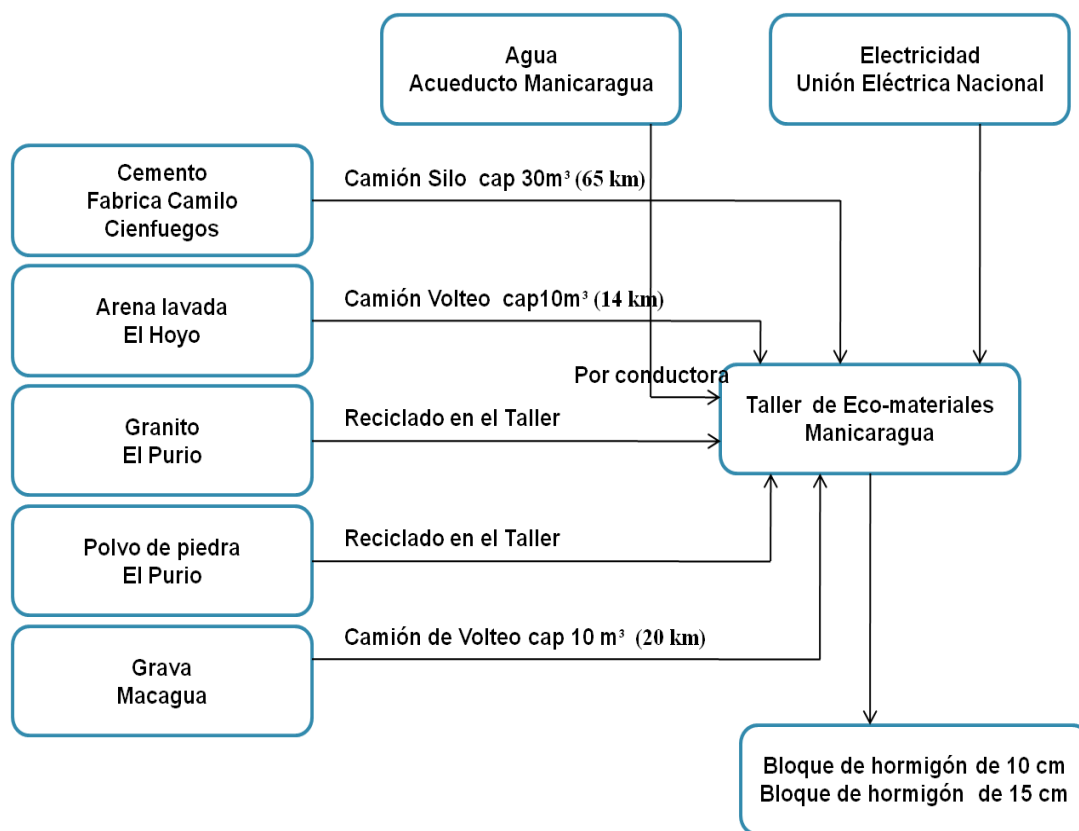


Figura 3.3 Diagrama de flujo sobre el proceso de producción de bloques de hormigón con árido reciclado

3.1.3. Evaluación de impacto

Este tercer elemento del ACV, tiene por objetivo valorar los resultados del análisis del inventario del producto en cuestión, cuantificando los posibles impactos medioambientales (Trujillo, 2014).

La metodología Eco indicador 99 define el término medio ambiente, según tres tipos de daños, a la salud humana, al ecosistema y a los recursos (Trujillo, 2014).

A la salud humana: En esta categoría se incluye el número y la duración de las enfermedades, y los años de vidas perdidos debido a la muerte prematura por causas ambientales. Los efectos aquí incluidos son: cambio climático, disminución de la capa de ozono, efectos cancerígenos y respiratorios y radiación ionizante.

A la calidad del medio ambiente: En esta categoría se incluye el efecto sobre la diversidad de especies y los organismos sencillos. Entre los efectos incluidos están: la ecotoxicidad, la acidificación, la eutrofización y el uso del suelo.

A los recursos: En esta categoría se incluye la necesidad extra de energía requerida en el futuro para extraer mineral de baja calidad y recursos fósiles. La disminución de los recursos brutos, como arena y gravilla se incluyen dentro del uso del suelo.

Los impactos ambientales medidos en el programa constan de once categorías de impactos y tres categorías de daños. Las categorías de impacto son: Carcinógenos, Respiración de Orgánicos, Respiración de Inorgánicos, Cambio Climático, Radiación, Capa de Ozono, Eco toxicidad, Acidificación/ Eutrofización, Uso del Suelo, Minerales y Combustibles Fósiles; y las categorías de daños son: Salud Humana, Calidad del Ecosistema y Recursos.

Las categorías de impactos son los efectos sobre el medio ambiente que causan los aspectos medioambientales del sistema o producto en estudio. Estos efectos serán seleccionados y definidos teniendo en cuenta el potencial de impacto que pueda generar el sistema o producto en estudio, de hecho, estos son los objetivos y alcance del ACV. Estas categorías a su vez, se clasifican según el alcance de su efecto en: global, regional o local.

Efecto Global:

A esta clasificación pertenece el efecto del Calentamiento Global. En el proceso, los gases del efecto invernadero forman un escudo que atrapa localmente parte de la energía irradiada. Debido a ello las capas más bajas de la atmósfera se calientan, lo que propicia el calentamiento de la superficie del planeta. Según las consecuencias previstas por los expertos en climatología, la temperatura media se elevará de 1,4°C a 5,8 °C en los próximos 100 años en la tierra. Este cambio del clima, traerá aumento de las temperaturas en los polos terrestres, con deshielo de los glaciares; aumento del nivel de los océanos; pérdidas de algunos países insulares; propagación de enfermedades tropicales a otros países de clima temperado; etc. El gas emitido por el efecto invernadero es el dióxido de carbono (CO₂).

Efecto regional:

Entre las categorías de este efecto se encuentran la Acidificación y la Eutrofización cuyos impactos medioambientales son originados, principalmente por emisiones del dióxido de azufre (SO_2) y óxido de nitrógeno (NO). La acidificación se produce debido a la degradación de las edificaciones y otras instalaciones cercanas a los grandes centros urbanos, y a la disminución de zonas forestales cercanas a las zonas industriales, lo que conlleva al deterioro del medioambiente. La eutrofización no es más que el enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema. Esto produce de manera general, un aumento de la biomasa y un empobrecimiento de la diversidad, ya que es un proceso que altera el equilibrio ecológico de la región.

Efecto local

Como ejemplo de las categorías de impacto de efecto local se presenta el mecanismo de impacto desencadenado a través del polvo. Este tipo de contaminante de la atmósfera conduce a una categoría conocida como contaminación del aire por partículas (conocidas como sílice), que se manifiesta con más intensidad en períodos de invierno, por lo tanto se le conoce también como contaminación de invierno.

3.1.4. Interpretación de los resultados

Para mayor entendimiento de estos impactos, a continuación se presentan varios gráficos, que se obtuvieron con la aplicación del programa SIMAPRO7.3, analizando como unidad funcional un bloque de hormigón cuyas alternativas se han mencionado al inicio del capítulo, que demuestran la contribución de las series, a las categorías de impactos y de daños respectivamente.

Impactos del Bloque de 10 cm

En la Figura 3.1 se aprecia la comparación del bloque de 10 AN respecto al AR expresado en por ciento. Se muestra la incidencia del impacto en cada una de las categorías. Los valores de los impactos totales de un proceso o producto reflejan que en cuanto mayor sea el número, mayor será el impacto ambiental. Se observa que el bloque con AN afecta más al ecosistema en la respiración de orgánicos en un 7 %, en

la capa de ozono en un 21 %, la ecotoxicidad en un 32 %, el uso del suelo en un 12 %, los minerales en un 18 % y los combustibles fósiles en un 21 %. Con el bloque con AR los parámetros más afectados son respiración de inorgánicos en un 44 %, carcinógenos en un 21 %, cambio climático en un 10 %, radiación en un 43 % y acidificación/ eutrofización en un 10 % .

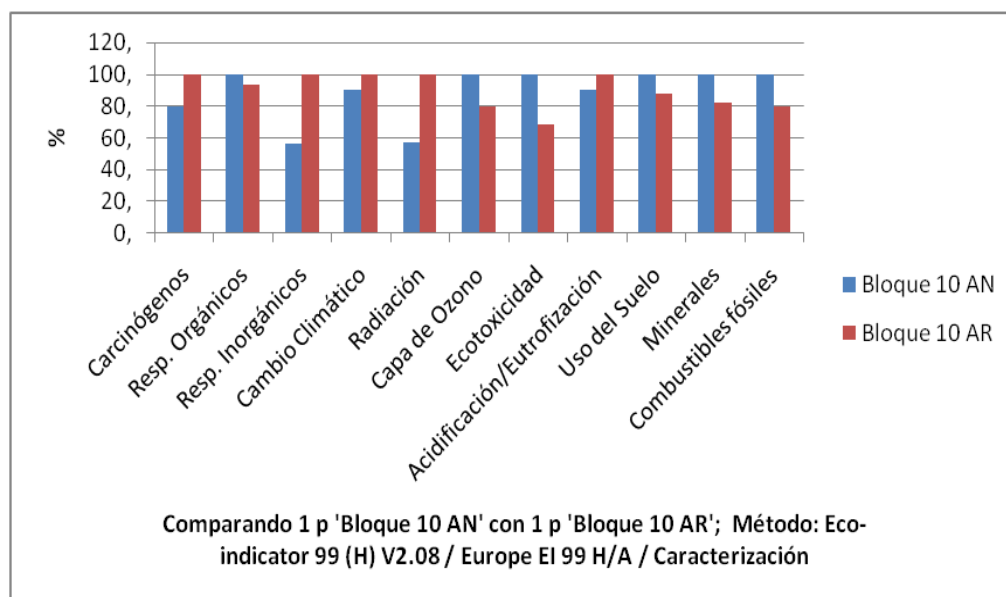


Figura 3.1. Categorías de impactos bloque de 10 AN vs AR en por ciento

En la Figura 3.2 se muestra la incidencia del impacto en cada una de las categorías expresados en milipuntos (mpt). Los números expresan los valores de impactos totales, en cuanto mayor sea el número, mayor será el impacto ambiental. Además, el valor absoluto de los puntos no es importante solo muestra la diferencia entre las alternativas. Se observa que los parámetros más afectados son respiración de inorgánicos, cambio climático y combustibles fósiles siendo los bloques con AR los que tienen un mayor impacto en la respiración de inorgánicos y el cambio climático producto y los bloques con AN poseen un mayor impacto en los combustibles fósiles.

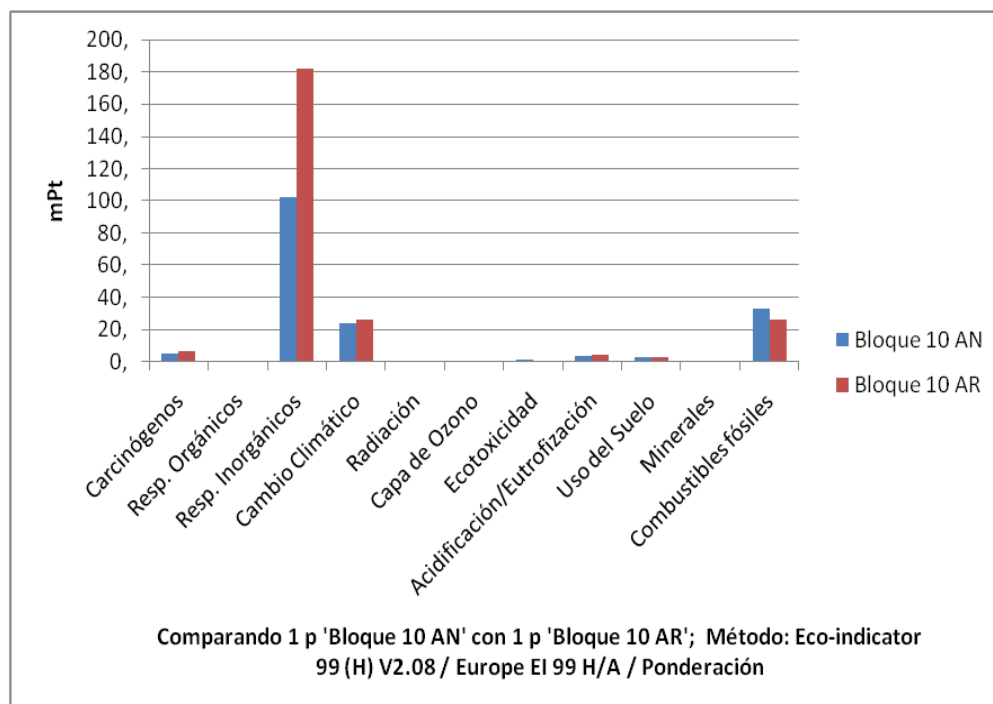


Figura 3.2. Categorías de impacto bloque de 10 AN respecto AR (mpt)

En la Figura 3.3 se puede ver la incidencia en cada una de las categorías. Se observa que la categoría más afectada es la salud humana, siendo el bloque con AR el que más afecta.

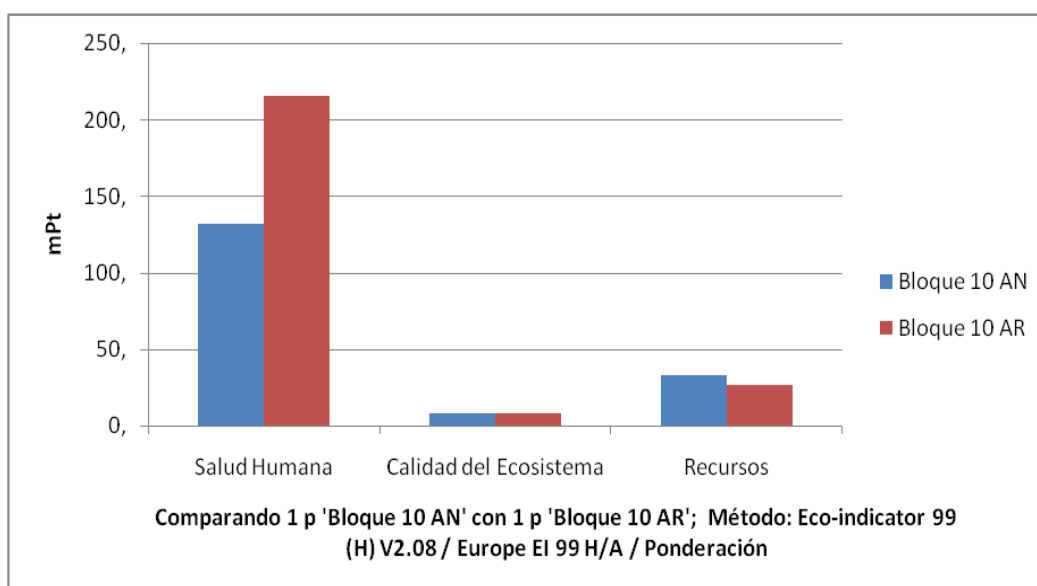


Figura 3.3. Categorías de daños bloque de 10 AN respecto AR (mpt)

La Figura 3.4 representa la incidencia de las distintas series, sobre las categorías de daños, se muestra que el consumo del cemento es el que incide sobre las categorías más afectadas, siendo mayor en la salud humana.

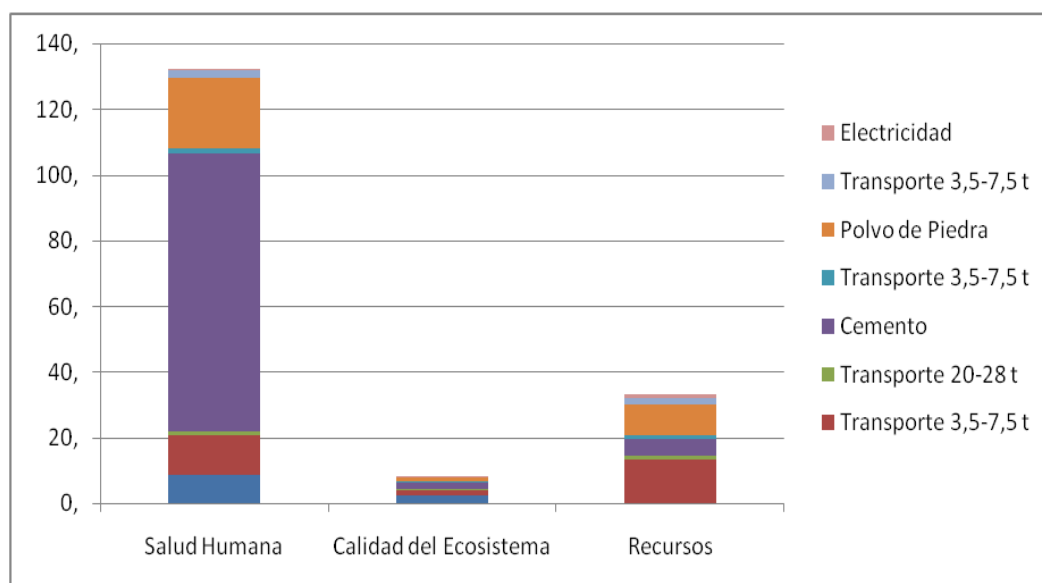


Figura 3.4. Caracterización de categorías de daños

Impactos del Bloque de 15 cm

La Figura 3.5 refleja la incidencia del impacto en cada uno de las categorías. Los % expresan valores de impactos totales de un proceso o producto. Se observa que el bloque con AN afecta más al ecosistema en los parámetros respiración de orgánicos en un 11 %, carcinógenos en un 18 %, radiación en un 8 %, capa de ozono en un 38 %, ecotoxicidad en un 47 %, uso del suelo en un 13 %, minerales en un 41 % y combustibles fósiles en un 34 %. Con el bloque con AR los parámetros más afectados son respiración de inorgánicos en un 9 %, cambio climático en un 10 % y acidificación/ eutrofización 5 %.

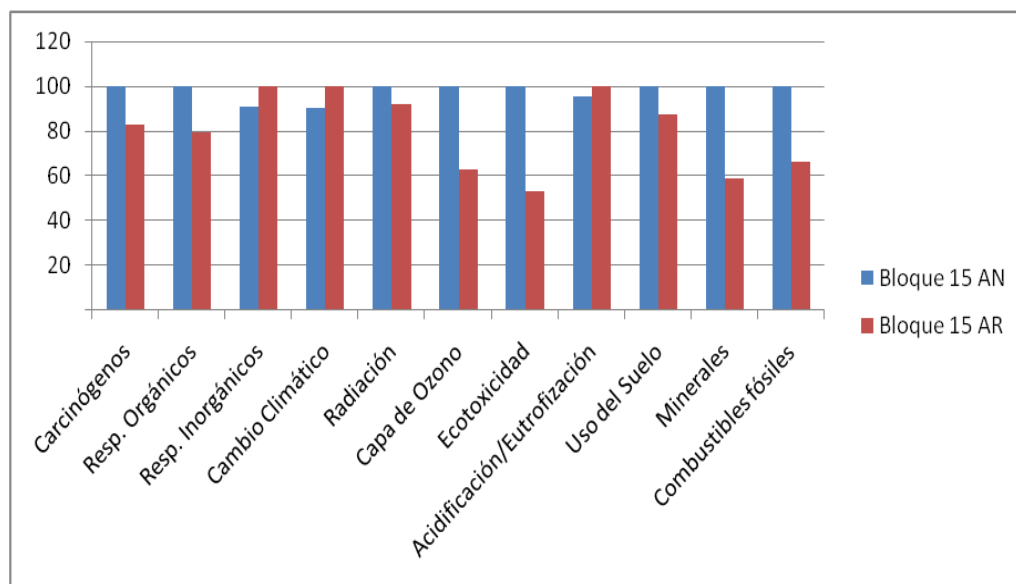


Figura 3.5. Categorías de impactos bloque de 15 AN respecto AR (%)

La Figura 3.6 muestra la incidencia en cada una de las categorías en (mPt). Se observa que los parámetros más afectados son respiración de inorgánicos, cambio climático y combustibles fósiles siendo los bloque con AR los que tienen un mayor impacto en la respiración de inorgánicos y el cambio climático y los bloques con AN los que tienen un mayor impacto en los combustibles fósiles.

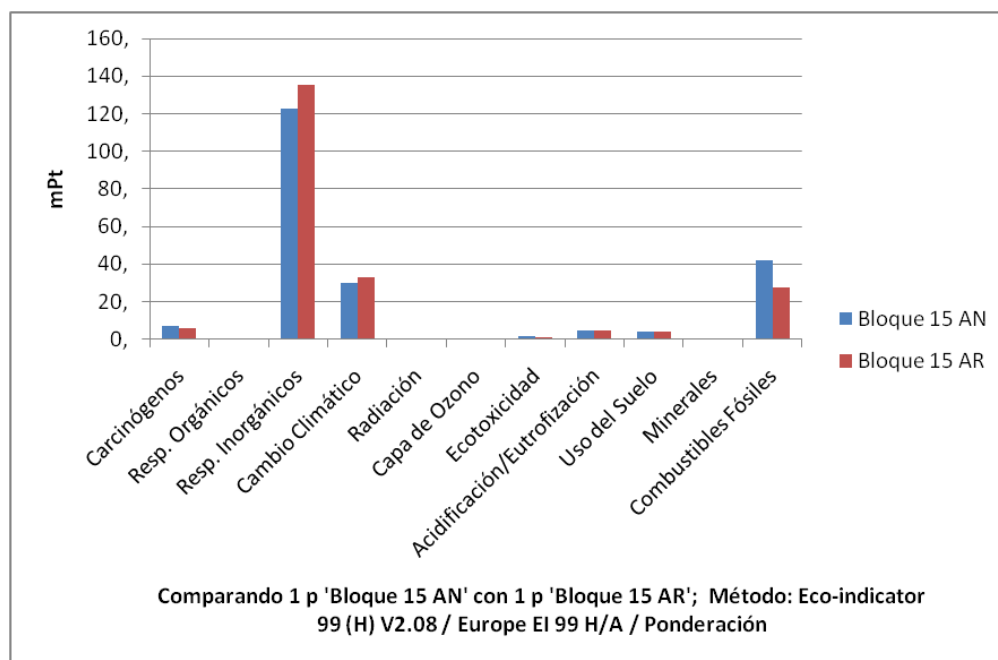


Figura 3.6. Comparación bloque de 15 AN respecto AR

En la Figura 3.7 se muestra la incidencia en cada una de las categorías. Se observa que la categoría más afectada es la salud humana, siendo el bloque con AR el que más la afecta.

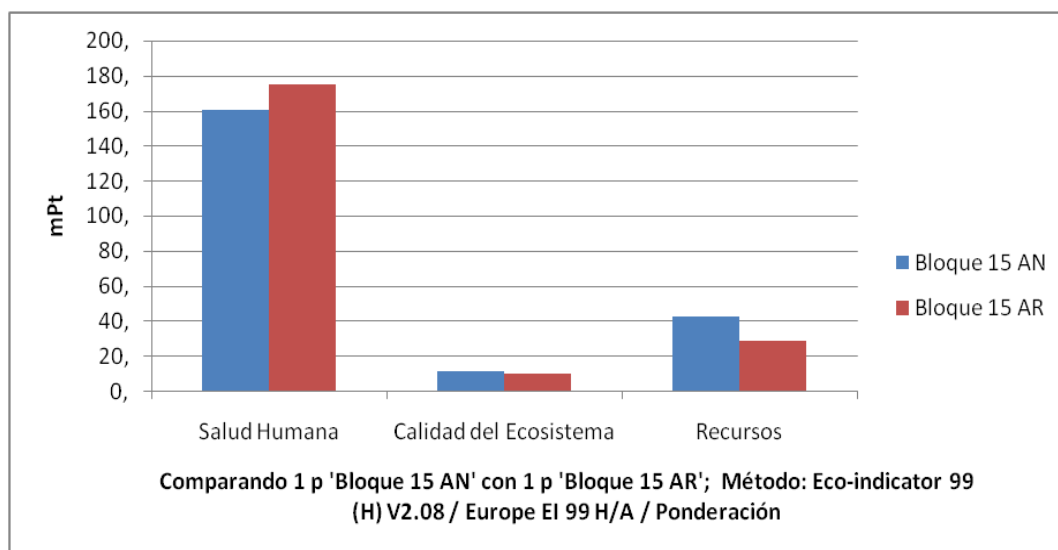


Figura 3.7. Categorías de daños bloque de 15 AN respecto AR (mPt)

La Figura 3.8 refleja la incidencia de las distintas series, sobre las categorías de daños, mostrando que el consumo del cemento es el que incide sobre las categorías más afectadas, siendo mayor la salud humana.

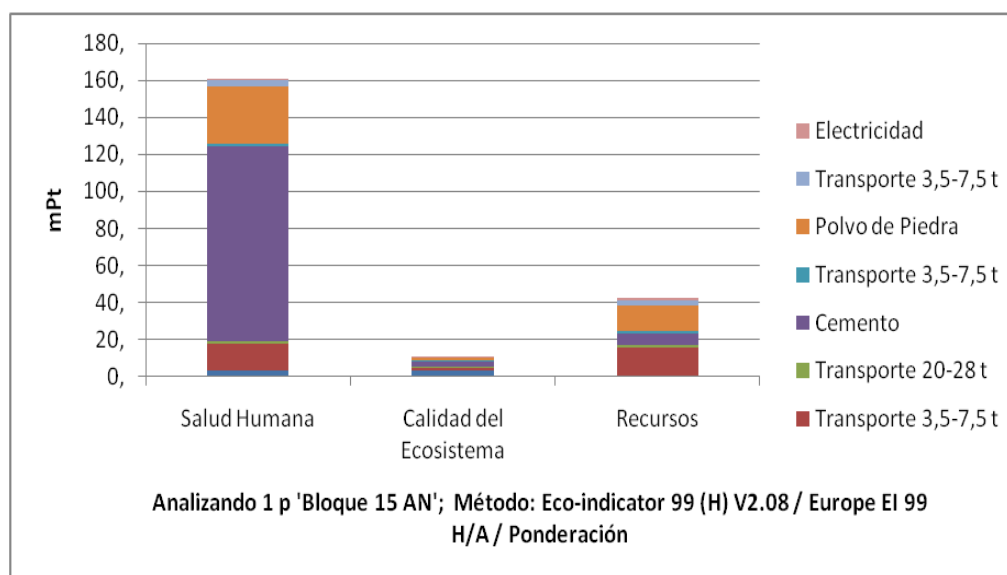


Figura 3.8. Caracterización de categorías de daños

Es importante precisar que el SIMAPRO 7.3 no analiza los impactos al medio ambiente en la explotación de los áridos en las canteras. Teniendo en cuenta la composición de los bloques se puede apreciar que los fabricados con árido natural afectan menos al medio ambiente que los producidos con áridos reciclados.

3.2. Impacto Económico

El impacto económico está dado por los costos de producción de los bloques los cuales se muestran en la Tabla 3.2, donde se refleja que el gasto de salario y el gasto indirecto se mantienen igual para las alternativas por cada tipo de bloque con AN y AR. El gasto de material y transporte disminuye en las alternativas donde se tienen en cuenta los AR, las partidas que se llevan dentro de los gastos mencionados anteriormente se evidencian en el Anexo 1 y 2. Sin embargo el gasto de energía manifiesta un aumento en las mismas alternativas mencionadas anteriormente, pues se consideran los equipos remoladores de residuos.

Tabla 3.2. Ficha de costo de los bloques.

Producto	UM	Gasto \$ de:					
		Salario	Material	Transporte	Energía	Indirecto	Total
Bloque de 10 AN	U	0,1133	0,2855	0,1778	0,0321	0,1039	0,7126
Bloque de 10 AR	U	0,1133	0,2065	0,0234	0,0963	0,1039	0,5434
Bloque de 15 AN	U	0,1691	0,3522	0,2186	0,0215	0,1551	0,9165
Bloque de 15 AR	U	0,1691	0,2660	0,0296	0,0645	0,1551	0,6843

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos suministrados en el taller

La Figura 3.9 muestra la comparación de los costos de producción teniendo en cuenta los cuatro escenarios estudiados y el ahorro en la producción de los bloques.

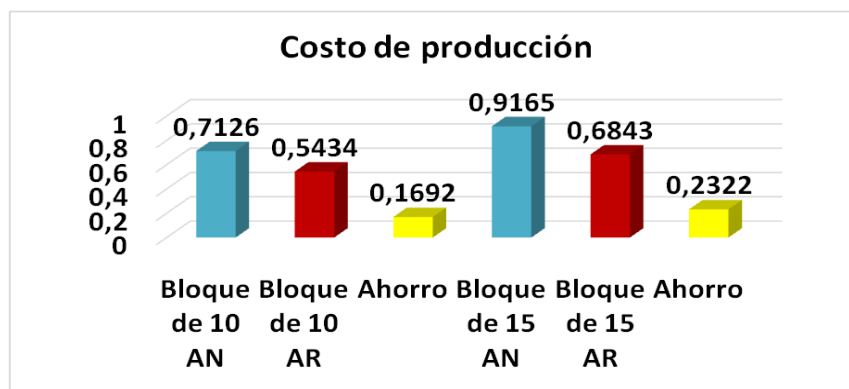


Figura 3.9. Costo de producción bloques de 10 y 15 cm

3.3. Impacto Social

Para este análisis se tiene en cuenta como impacta a la sociedad el proceso de producción de los bloques bajo los cuatro escenarios, a partir de la repercusión del impacto ambiental y económico.

El ACV ambiental nos permite llegar a conocer las categorías de daños que afectan la salud humana, las cuales son: cambio climático, disminución de la capa de ozono, efectos cancerígenos, efectos respiratorios y radiación. Las cuales se ven mayormente afectadas por el cemento, por lo que el bloque con AR afecta más la salud humana que el bloque con AN, como se muestra en las (Figuras 3.3 y 3.7).

El CCV nos permite estimar como impacta favorablemente en la sociedad la producción adicional de bloques con AR . Para ello se ha tomado en cuenta que el material común extraído de las canteras para la producción del bloque con AN y el bloque con AR es la arena lavada. La tabla muestra las dosificaciones que se utilizan en cada caso.

Tabla 3.3 Dosificación de Arena Lavada para la producción de los bloques.

Bloque de →	10 AN	10 AR	15 AN	15 AR
Dosificación de Arena Lavada por bloque	0,003 m ³	0,001 m ³	0,004 m ³	0,001 m ³

Fuente:Elaboración propia a partir datos obtenidos en el taller

Como se aprecia en la tabla con la dosificación de arena lavada con la que se fabrica un bloque de 10 cm con árido natural se producen tres bloques de 10 cm con árido reciclado lo que se traduce en una producción adicional de 2 bloques.

De forma similar sucede con el bloque de 15 cm que con la cantidad de arena lavada que se fabrica un bloque con árido natural se producen cuatro bloques de 15 cm con árido reciclado resultando una producción adicional de tres bloques siendo mayor que la de los bloques de 10 cm .

3.4. Conclusiones Parciales

1. El uso de la herramienta de análisis del ciclo de vida es adecuada para medir el impacto ambiental, ya que tiene en cuenta todas las fases por las que transcurre el sistema o producto en cuestión.
2. En el impacto ambiental la producción de bloques 10 y 15 cm con árido reciclado tienen un mayor impacto debido a que tienen en su composición un 17 y 22 % respectivamente más de cemento que los fabricados con árido natural. Sin embargo tienen un 66,7 y 75 % respectivamente de menos impacto en la explotación de las canteras.
3. En lo económico los bloques con árido reciclado tienen un ahorro de \$ 0,16 para los de 10 cm y de \$ 0,23 para los de 15 cm debido a que disminuyen los costos de transportación y de materiales.
4. El impacto social con respecto a la salud humana indica que el bloque fabricado con árido reciclado tiende a influir negativamente en la salud, pues utiliza más cemento.
5. Los bloques con árido reciclado tienen una producción adicional de dos unidades en el caso de los de 10 cm y tres en los de 15 cm utilizando la misma cantidad de áridos de las canteras.



Conclusiones Generales

CONCLUSIONES GENERALES

1. A pesar que los estudios realizados por el CIDEM constituyen la plataforma teórica inicial del uso de áridos reciclados para la fabricación de hormigones, no presentan los imprescindibles estudios de impacto por lo que se desconoce la influencia de estas mezclas en el medio ambiente, en lo económico y en lo social.
2. Existe una importante experiencia práctica en el Taller de Eco-materiales de Manicaragua con el uso de áridos reciclados en bloques de hormigón, con una producción diaria de 800 unidades, lo que permite evaluar la sustitución de los áridos naturales en condiciones productivas reales.
3. Los resultados del análisis de ciclo de vida aplicado a la producción de bloques 10 y 15 cm con árido reciclado indica que estos tienen un mayor impacto ambiental debido a que tienen en su composición un 17 y 22 % respectivamente más de cemento que los fabricados con árido natural. Sin embargo tienen un 66,7 y 75 % respectivamente menos impacto en la explotación de las canteras.
4. Con respecto al efecto económico, los bloques con árido reciclado son más económicos en \$ 0,16 para los de 10 cm y en \$ 0,23 para los de 15 cm debido a que disminuyen los costos de transportación y de materiales.
5. El impacto social con respecto a la salud humana indica que el bloque fabricado con árido reciclado tiende a influir negativamente en la salud, pues utiliza más cemento. No obstante si se fabrican bloques con áridos reciclados se logra una producción adicional de dos unidades en el caso de los bloques 10 y tres en los bloques 15 utilizando la misma cantidad de áridos de las canteras.



Recomendaciones

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios de impacto en las investigaciones de materiales que se realizan en el CIDEM para lograr resultados más integrales.
2. Sugerir a la dirección del CIDEM de conjunto con el Taller de Eco-materiales de Manicaragua realizar estudios de mezclas para la fabricación de bloques disminuyendo la proporción de cemento para evaluar su influencia en las propiedades mecánicas e impactos.
3. Extender esta experiencia de evaluación de impactos a otras dependencias de fabricación de materiales de construcción donde se utilicen áridos reciclados.



Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- (CSIRO), C. S. A. I. R. O. 2002. Guide to the use of recycled concrete and masonry materials. 8.
- ALONSO, J. D. G. 2014. *Estudio técnico-económico del uso de áridos reciclados en la producción de hormigón*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- ASTM 2001. Standard Especification Chemical Admixtures for Concrete
- AUGUST, S. L. 2014. *Impact of changing Relative Humidity (RH) on volume changes in recycled aggregate concrete*.
- BER, J. 2005. Enciclopedia de la construcción. *Construmática*.
- BETANCOURT, S. 2014. Áridos. Definiciones y propiedades.
- BRE 1998. Recycled Aggregates.
- CALDERÓN, Á. N. 2014. *Uso y fomento del árido reciclado en hormigón estructural como oportunidad de mejora medioambiental y económica. Aplicación a la Comunidad Autónoma de La Rioja*. Tesis Doctoral, Universidad de la Rioja.
- CIRCULAR, W. B. T. 2002. Specifications Facilitating the Use of Recycled Aggregates.
- CHAUVEINC, J. A. 2011. *Estudio experimental de propiedades mecánicas de hormigones con árido reciclado mediante la modificación del método de mezclado del hormigón*. Universidad de Chile.
- DEMOLICIÓN, A. E. D. R. D. C. Y. 2010. Control de los Residuos de Construcción y Demolición, RCD, en los Ayuntamientos. *GERD*, 32.
- DIN Concrete. German code for the design of concrete structures. .
- DIN 2002. "Aggregates for mortar and concrete - Part 100: Recycled aggregates".
- ETXEBERRIA, M. 2004. *Estudios experimentales sobre el comportamiento microestructural y estructural en hormigones con agregados reciclados*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.
- GAYARRE, F. L. 2008. *Influencia de la variación de los parámetros de dosificación y fabricación de hormigón reciclado estructural sobre sus propiedades físicas y mecánicas*. Universidad de Oviedo.
- GONZÁLEZ, Y. P. & RODRÍGUEZ, A. C. 2014. *Estudio del comportamiento de hormigones hidráulicos, a partir del empleo de áridos reciclados sin y con adiciones de materiales finos.*, Universidd Central Marta Abreu de las Villas.
- JIMENO, C. L. 1994. *Manual de prospección, explotación y aplicaciones de los áridos* [Online].
- LINARES, R. J. A. 2002. *Aplicabilidad de áridos reciclados para fabricación de hormigones*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.
- LORENZO, E. L. 2014. *Influencia de los finos menores que el tamiz 200 en matrices de nuevos hormigones*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- LLANEZ PÉREZ, L. 2012. *Utilización de áridos reciclados en la Empresa de Prefabricado Industrial de Villa Clara, para la fabricación de hormigón hidráulico*. pregrado, UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS.
- MARILDA, B., DIEGO, A., H., P. S., SUSANNA, V. & ENRIC, V. 2011. Utilización de áridos reciclados "una oportunidad frente a la situación actual" 3.

- NC 2000a. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Ejemplos de aplicación de la NC-ISO 14041 para la definición del objetivo y alcance y análisis del inventario (ISO/TR 14049: 2000, IDT).
- NC 2000b. GESTION AMBIENTAL. ANALISIS DEL CICLO DE VIDA. EVALUACION DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA
- NC 2000c. GESTION AMBIENTAL. ANALISIS DEL CICLO DE VIDA. INTERPRETACION DEL CICLO DE VIDA
- NC 2000d. GESTION AMBIENTAL. ANALISIS DEL CICLO DEVIDA. DEFINICION DELOBJETIVO Y ALCANCE Y ANALISIS DEL INVENTA RIO.
- NC 2005a. ARIDOS PARA HORMIGONES HIDRAULICOS-REQUISITOS.
- NC 2005b. GESTIÓN AMBIENTAL—ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA —PRINCIPIOS Y MARCO DE REFERENCIA [ISO 14040:1997 (TRADUCCIÓN CERTIFICADA), IDT]
- NC 2007. HORMIGON HIDRÁULICO — ESPECIFICACIONES Comité Técnico de Normalización NC/CTN 37 de Hormigón.
- NEN 1997. Aggregates for concrete.
- NIELSEN, S. 2013. *Experimental Study of Concretes with Recycled Aggregate from a Prefabrication Plant.*
- NÚÑEZ, M. O. 2014. *Dosificación de Hormigones con áridos reciclados mezclados con y sin finos. Residuos de planta de la Habana. .*
- O'BRIEN, J. 2009-2010. Informe Anual
- OLIVEIRA, M. J. E. D., ASSIS, C. S. D. & MATTOS, J. T. D. 2004. RECYCLED AGGREGATE STANDARDIZATION IN BRAZIL
- PÁRAMO, A. R. 2011. *Tipología de áridos reciclados en Cataluña y su aplicabilidad.* Universidad Politécnica de Cataluña.
- PARICIO, I. Diccionario de arquitectura y construcción. In: BISAGRA (ed.).
- PÉREZ BENEDICTO, J. A. 2011. *Estudio experimental sobre propiedades mecánicas del hormigón reciclado con áridos procedentes de la no calidad en prefabricación* Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- RILEM 1994. Specifications for Concrete with Recycled Aggregates, in Materials and Structures.
- RODRIGUEZ DE LA CONCEPCIÓN, R. 2013. *Evaluación del grado de reactividad de la fracción fina de los áridos obtenidos del reciclaje de escombros.* Pregrado, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- SÁNCHEZ DE JUAN, M. 2004. *Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de Hormigón Estructural*, Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.
- SANCHEZ, I. 2008. Materias primas y fabricación del cemento.
- SANZ, C. M., REGUEIRO, M. & BARROS, G. 2010. *Panorama Minero* [Online].
- TRUJILLO, C. A. F. 2014. *Estudio del impacto ambiental en la Planta de Prefabricado IMS de Santa Clara mediante el análisis de ciclo de vida.* Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- VYNCKE, J. & ROUSSEAU, E. 1994. Recycling of Construction and Demolition Waste in Belgium: Actual Situation and Future Evolution". Demolition and Reuse of Concrete and Masonry.
- WALES, J. & SANGER, L. 2012. Wikipedia



Anexos

ANEXOS

Anexo 1

Costo de transportación de los materiales de las canteras

Material	Equipo	Lugar	Destino	Capacidad Equipo	Distancia Recorrida	Valor Tarifa	Importe Total
Piedra de Hormigón	Camión Volteo	El Purio	Taller	10 m ³	78	0,28	218,4
Polvo de Piedra	Camión Volteo	El Purio	Taller	10 m ³	77	0,28	215,6
Granito	Camión Volteo	El Purio	Taller	10 m ³	78	0,28	218,4
Arena Lavada	Camión Volteo	El Hoyo	Taller	10 m ³	11	0,28	30,8
Cemento	Camión Volteo	Cienfuegos	Taller	30 t	65	0,54	351

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en el Taller

Anexo 2

Costo de materiales en las canteras

Material	Cantidad	UM	Costo en la Cantera (\$)
Piedra de Hormigón	10	m ³	22,795
Polvo de Piedra	10	m ³	26,118
Granito	10	m ³	25,098
Arena Lavada	10	m ³	18,825
Cemento	30	t	3376,19

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en el Taller